

ACADEMIE DE PARIS
UNIVERSITE RENE DESCARTES

ANNEE 1971

THESE

N°

35

POUR LE

DOCTORAT EN CHIRURGIE DENTAIRE

(THESE DE 3^e CYCLE)

PAR

Jeanine, Marie, Marcelle, Antoinette MÜLLER

NEE LE 27 JUILLET 1923 A DOUAI, 59

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT le

1971

la pénétration
transdentinaire
des produits courants
d'obturation marqués
aux radioisotopes

PRESIDENT : MONSIEUR PIERRE CERNEA, PROFESSEUR

ACADEMIE DE PARIS
UNIVERSITE RENE DESCARTES

ANNEE 1971

THESE

N°

POUR LE

DOCTORAT EN CHIRURGIE DENTAIRE

(THESE DE 3^e CYCLE)

PAR

Jeanine, Marie, Marcelle, Antoinette MÜLLER

NEE LE 27 JUILLET 1923 A DOUAI. 59

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT le 1971

la pénétration
transdentinaire
des produits courants
d'obturation marqués
aux radioisotopes

PRESIDENT : MONSIEUR PIERRE CERNEA, PROFESSEUR

UNIVERSITE REINE DESCARTE
ACADEMIE DE PARIS

THESE

ANNEE 1971

POUR LE

DOCTORAT EN CHIRURGIE DENTAIRE

(THESE DE MEDECINE)

PAR

Jeanine, Marie, Marcelle, Antoinette MÜLLER

MESE LE 27 JUILLET 1971 A DENTAI. 32

PRESENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 1971



la pénétration
transdentinaire
des produits courants
d'obturation marqués
aux radioisotopes

PRÉSENTÉ PAR MONSIEUR PIERRE CERNET, PROFESSEUR

ACADEMIE DE PARIS

U N I V E R S I T E R E N E D E S C A R T E S

Président de l'Université René DESCARTES

M. J. FRÉZAL

Chargé de Mission

M. J. LÉNA

Conservateur en Chef de la Bibliothèque

Conservateurs

Mlles P. DUMAITRE
G. LE NOIR

Bibliothécaires

Mmes J. CONTET
FORGET
VALLIN
DEMANEE
Mlles D. ROBERGE
LE QUANG

Par délibération en date du 9 décembre 1798,
l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans
les dissertations qui lui seront présentées,
doivent être considérées comme propres à leurs
auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune
approbation, ni improbation.

A mes Parents

en témoignage
de ma très grande affection

A mes frères

Le Docteur Daniel MÜLLER
et M. Raymond MÜLLER

Très affectueusement

A tous les miens

en gage de mon profond attachement

Au Docteur René FILACHET

Professeur Honoraire
à l'Ecole de Médecine d'Amiens
Officier de la Légion d'Honneur

à qui je dois tant,
dont le goût de la physiologie.

et à Madame Suzanne FILACHET †

à qui j'aurais tellement voulu
donner ce témoignage
de mon affection.

A Mademoiselle Marie BOTTOLLIER

Chevalier de la Légion d'Honneur

en gage de ma reconnaissance
qui n'a d'égale que mon affection

A Madame le Docteur Paulette ACHARD

avec mes sentiments les plus affectueux

A tous mes précieux Amis

A Monsieur le Professeur P. CERNEA

Professeur de Clinique Stomatologique
à la Faculté de Médecine de Paris
Stomatologiste de l'Hôpital de la Salpêtrière
Officier de la Légion d'Honneur

Qui m'a fait l'honneur d'accepter
la Présidence du Jury de cette thèse

Je le prie de croire à l'expression
de mes sentiments respectueux.

A Monsieur le Docteur G.J. ACHARD

Stomatologiste—Chef des Hôpitaux
Maître de Conférence Agrégé
à la Faculté de Médecine de Marseille

à qui je dois le sujet de cette thèse
et qui me prodigua tous ses précieux conseils

Qu'il veuille bien trouver ici le témoignage
de mon admiration et de ma plus vive
gratitude.

A Monsieur le Professeur Henri ROUX

Doyen de la Faculté de Médecine
de Marseille

Qu'il veuille bien croire à l'expression
de ma profonde reconnaissance

A Monsieur le Docteur Jean MINE¹

Professeur Agrégé du Val de Grâce

en témoignage de notre bonne
et grande amitié.

A Monsieur Raymond PAULIN

Docteur en Pharmacie

Chef de travaux - Assistant des Hôpitaux de Marseille

En remerciement de sa précieuse et
si efficace collaboration.

A Monsieur le Docteur NOËL

Directeur des Etudes
à l'Ecole Supérieure des Techniques
de Biologie appliquée

Qui m'a permis de réaliser
l'expérimentation animale
dans ses Laboratoires.

Je le prie de croire à l'expression
de toute ma reconnaissance.

A Monsieur Jacques GIRAUD

Ingénieur au C.N.R.S.

A Mademoiselle Françoise VICENS

Biologiste Diplômée de l'E.S.T.B.A.

En gage de toute ma gratitude
pour leur aide technique si appréciable.

la pénétration
transdentinaire
des produits courants
d'obturation marqués
aux radioisotopes

La structure des tissus dentaires, les échanges métaboliques dont ils sont le siège, leur comportement sous l'action de facteurs exogènes ou endogènes, en un mot la BIOLOGIE DENTAIRE nous conduit à repenser constamment le problème de l'obturation.

L'introduction d'un corps étranger pratiquée sciemment dans un organe ayant sa physiologie propre soumet a fortiori les tissus environnants à l'observation vigilante de l'opérateur. Les matériaux employés se voudraient tous être l'allié biologique des tissus sur lesquels ils vont reposer. Cependant, nombreuses ont été les observations faisant état de modifications de structure et de comportement de la dent restaurée. Une bienfaisante dentinogénèse est parfois espérée, mais d'autres remaniements tissulaires peuvent aussi apparaître. Y aurait-il donc à prévoir une action bénéfique et cytophylactique de la matière obturatrice ou à redouter au contraire une pénétration nocive ?

Dès avant la pose de la restauration, l'intervention sur les tissus durs de la dent doit être considérée déjà comme un acte chirurgical. Ce premier impératif prophylactique revêt le caractère d'une agression vis-à-vis de l'organe. Le scalpel laisse une plaie chirurgicale dont la cicatrisation primaire est confiée à la suture, la fraise ouvre des canalicules dentinaires dont l'oblitération n'est pas systématiquement dévolue à la matière obturatrice.

Ces quelques considérations nous ont suggéré une recherche sur le cheminement possible de certains constituants de la matière obturatrice en incorporant à celle-ci de faibles doses d'isotopes radioactifs, utilisant ainsi un mode d'investigation d'actualité convenant particulièrement bien à une étude de pénétration dans les tissus minéralisés.

De cette manière, et grâce à l'autoradiographie, nous essayerons de déterminer le mode d'action éventuelle de trois produits conventionnels d'obturation sur les tissus dentaires : le ciment au silicate, le ciment dit à l'oxyphosphate et l'amalgame d'argent. Comme toute thérapeutique restauratrice est fonction des dispositions anatomiques de l'organe à traiter, nous nous proposons de suivre le plan ci-après :

Chapitre I - LA STRUCTURE DE LA DENT :

1. La dentinogenèse
2. Rappel histochimique
3. Rappel histologique
4. La sensibilité dentinaire

Chapitre II - LA RESTAURATION CORONAIRE :

1. Les matériaux conventionnels d'obturation
 - a) le ciment au silicate
 - b) le ciment à l'oxyphosphate
 - c) l'amalgame d'argent
2. Emploi des matériaux d'obturation en fonction de la perméabilité dentinaire
 - a) la perméabilité dentinaire
 - b) les obturations dentinogènes
 - c) les obturations neutres et les obturations toxiques

Chapitre III - RECHERCHE EXPERIMENTALE DE PENETRATION TRANSDENTINAIRE

1. Principes et méthodes

- a) Protocole d'étude
- b) Principe de l'investigation
- c) Le matériel d'étude
- d) Les techniques utilisées

2. Déroulement des expériences et analyse des résultats

- a) Pénétration à partir d'obturations au silicate
- b) Pénétration à partir d'obturations à l'oxyphosphate
- c) Pénétration à partir d'obturations à l'amalgame

CONCLUSIONS

Nous savons que le germe dentaire est constitué de deux éléments : l'un épithélial, l'autre conjonctif. Lorsqu'il se trouve au voisinage immédiat de la région alvéolaire du maxillaire en cours d'ossification, un feutrage de fibres collagènes lui constitue une véritable enveloppe : le sac dentaire. Arrivé à ce stade, le follicule dentaire contient tous les éléments capables d'effectuer la mise en place des différents tissus de la dent : émail, dentine et pulpe. Les adamantoblastes issus de l'épithélium adamantin interne donneront naissance à l'émail ; les cellules périphériques de la papille mésenchymateuse, en regard de l'épithélium adamantin interne, devenues odontoblastes par un processus d'induction, donneront naissance à la dentine et à la pulpe grâce à la riche vascularisation de la papille. Quant au cément et au périodonte, ils dérivent du sac dentaire, c'est-à-dire de l'enveloppe conjonctivo-vasculaire. L'émail est donc seul d'origine épithéliale, les autres structures étant d'origine conjonctive.

Notre expérimentation ayant essentiellement porté sur le problème de la pénétration transdentinaire, nous nous limiterons à certains préalables concernant la dentine et la pulpe dont on ne peut physiologiquement la séparer.

Le processus d'induction est fondamental dans la différenciation des tissus dentaires. Lorsque le germe de la dent est au stade de la cloche, une palissade de cellules épithéliales borde la concavité. Elle se termine, vers le bord libre, par une zone de réflexion dont les potentialités inductrices sont très importantes. Les divisions cellulaires s'effectuent à ce niveau où, durant tout le développement de l'organe, apparaissent les nouveaux adamantoblastes. Ceux-ci sont différenciés un peu avant les odontoblastes, mais la dentinogenèse débute cependant immédiatement avant l'adamantogenèse. L'épithélium adamantin interne, déjà différencié en préadamantoblastes, induit la transformation des cellules sous-jacentes de la papille en odontoblastes qui, dès lors, manifesteront leur capacité élaboratrice en érigeant une première couche de dentine. Celle-ci crée une véritable séparation entre la papille et l'épithélium adamantin interne. La polarité fonctionnelle de l'organe de l'émail va alors apparaître. Son irrigation ne peut plus être assurée par les vaisseaux pulpaire, mais seulement par la couche capillaire entourant l'épithélium adamantin externe. La nutrition des adamantoblastes se fera donc par cette seule voie et les métabolites devront traverser la gelée de l'émail et le stratum intermedium. La sécrétion de l'émail débutera, pour cette raison, un peu plus tard que celle de la dentine.'

Les nouvelles couches d'émail se surajouteront toujours en augmentant d'épaisseur vers l'extérieur alors que l'apparition des couches successives de dentine vers l'intérieur aura tendance à restreindre le volume pulpaire. Néanmoins, dès l'histodifférenciation, l'épithélium adamantin interne s'est disposé selon le profil de la jonction émail-dentine et le patron de la couronne est dès lors dessiné.

La première manifestation de la dentinogenèse proprement dite est la formation des fibrilles collagènes qui revient aux odontoblastes. Ils subissent certaines modifications morphologiques juste avant l'élaboration de la trame organique qui sera la matrice de la dentine. Ils se rapprochent de la basale, s'allongent, s'accolent les uns aux autres et des modifications de leur ultrastructure vont témoigner de leur activité sécrétoire. Cette fonction précise a été mise en valeur par les recherches contemporaines et cela depuis l' "avènement" du microscope électronique et aussi avec l'aide dans ce domaine des isotopes radioactifs.

Le noyau de l'odontoblaste se trouve au pôle non excréteur pulpaire alors que les organites cytoplasmiques se situent entre l'extrémité élaboratrice et le noyau. L'ergastoplasme est important, les ribosomes sont nombreux et les mitochondries abondantes. La microscopie électronique révéla des grains de sécrétion au voisinage de l'appareil de Golgi ainsi qu'au pôle d'excrétion de la cellule. Dans le même temps, la densification fibrillaire collagène fut observée à l'extrémité excrétrice de l'odontoblaste. En plus de ces différents arguments morphologiques, des expériences avec des acides aminés marqués, précurseurs du collagène, incorporés dans les odontoblastes, ont permis de détecter une diffusion rapide et significative de la radioactivité dans la matrice dentinaire. Une grande partie de la trame organique de la dentine est donc sécrétée directement par les odontoblastes.

2. RAPPEL HISTOCHIMIQUE

Comme nous l'avons vu, la dentine est un tissu d'origine conjonctive. Les cellules primitives mésenchymateuses du tissu conjonctif jeune en général se différencient en divers types cellulaires dont les fibroblastes. Ces cellules, spécifiques de la fonction à assumer, deviendront alors ostéoblastes, cémentoblastes ou odontoblastes, selon qu'il s'agit de l'os, du ciment ou de la dentine. Ces trois tissus sont minéralisables et leur histochimie procède de deux mécanismes fondamentaux et complémentaires :

- 1 - la création d'une trame organique
- 2 - la minéralisation de cette trame.

CREATION DE LA TRAME ORGANIQUE :

Dans le cas de la matrice dentinaire, les cellules élaboratrices sont donc les odontoblastes. Mais, par leur conformation particulière, ils subissent un mouvement de retrait continu, la fibre de TOMES s'allongeant progressivement et figurant seule dans la substance fondamentale. Contrairement aux adamantoblastes, il est à noter qu'ils ne s'atrophient ni ne disparaissent après la phase active de la dentinogenèse et qu'ils garderont tout leur potentiel sécrétoire durant toute la vie de la dent. La dentine est bien un tissu cellulaire capable de s'accroître tant que la pulpe subsiste.

Les odontoblastes ont en fait plusieurs activités élaboratrices. D'une part, ils secrètent des polysaccharides et, d'autre part, des protéines.

Les réactions histochimiques de la substance fondamentale de la matrice dentinaire témoignent de la présence de composés des produits élaborés par les cellules : des mucopolysaccharides acides sulfatés ou non et les glycoprotéines.

Le réseau fibrillaire de la matrice est constitué par le collagène qui est la protéine fibreuse la plus répandue dans l'organisme. Les fibrilles présentent de fines striations qui ont une période de $640 \text{ \AA}$ et qui vont jouer un rôle important dans la minéralisation.

Les cellules elles-mêmes participent aussi à cette minéralisation en sécrétant divers enzymes qui agiront à distance sur le dépôt des sels minéraux.

MINÉRALISATION DE LA MATRICE DENTINAIRE :

La théorie ancienne de la minéralisation des tissus faisait état d'une sursaturation du milieu en ions calcium et phosphate précipités sur la trame organique. Actuellement, la concentration de ces ions est en fait passée au second plan et on admet que la minéralisation serait le fait d'un phénomène connu en minéralogie : l'épithaxie, c'est-à-dire la croissance d'un cristal sur une structure favorable à cet arrangement. Dans le cas de la dentine, cette disposition spatiale revient aux fibrilles de collagène. Les premiers cristaux se déposent au sein des fibrilles, au niveau des striations périodiques. L'arrangement même des molécules du collagène détermine donc la minéralisation, les propriétés physicochimiques de la substance fondamentale entrant aussi en jeu (présence de muco-polysaccharides acides) ainsi que les activités enzymatiques de l'odontoblaste. Une phosphatase alcaline serait indispensable et un

accroissement de toute l'activité enzymatique a d'ailleurs été observée au niveau des odontoblastes pendant la phase active de la dentinogenèse.

La substance minérale est essentiellement une composition phospho-calciqne cristallisée dans le système des apatites (sels doubles de phosphate de calcium plus un autre sel de calcium).

La minéralisation est plus intense dans les zones péritubulaires que dans la dentine intercanaliculaire. Le voisinage immédiat des fibres de TOMES à ce niveau crée sans doute une activité métabolique plus grande selon WEILL.

L'édification de la dentine relève donc de phénomènes d'ordre physico-chimique extrêmement complexes, incomplètement connus. Le processus biologique de minéralisation prend toute son importance dès que l'on aborde la pathologie dentaire, car la résistance à la carie semble bien dépendre d'une bonne ou mauvaise minéralisation de la dent. De même, le problème de la pénétration de substances inorganiques mises au contact du tissu minéralisé ne pouvait non plus être abordé sans prendre en considération ce processus déterminant pour la structure et les propriétés de la dentine.

Pulpe et dentine ne peuvent être séparées ni physiologiquement, ni histologiquement, ni embryologiquement.

On sait que la pulpe dentaire résulte de l'évolution progressive de la papille mésenchymateuse qui est aussi, par les cellules qui en sont issues, responsable de la formation de la dentine. Le tissu conjonctif pulpaire présente une grande particularité : on y distingue nettement deux zones très différentes, une centrale et une marginale. La zone centrale est très riche en éléments cellulaires et relativement pauvre en fibres. Outre les cellules habituelles du tissu conjonctif (fibrocytes et fibroblastes), on y trouve de nombreux histiocytes. La substance fondamentale intercellulaire renferme des mucopolysaccharides qui sont à l'origine des propriétés physico-chimiques de la pulpe et lui donne sa consistance. Les fibres collagènes forment de très fins réseaux, mais sont beaucoup moins abondantes que dans la zone marginale. La vascularisation est très riche, avec de nombreux capillaires et on note aussi la présence de vaisseaux lymphatiques. L'innervation est importante. Un réseau bien développé de filets nerveux comprend des fibres myéliniques en majeure partie et des fibres amyéliniques en nombre 3 à 4 fois moins élevé. Ces fibres ont des terminaisons libres allant jusqu'aux odontoblastes.

La zone marginale pulpaire est limitée par les odontoblastes qui, par leur disposition et leur rôle physiologique, appartiennent à la fois à la pulpe et à la dentine. La couche acellulaire de WEIL les sépare de la zone centrale pulpaire. Cette couche est, comme son nom l'indique, dépourvue de cellules, mais renferme bon nombre de fibres collagènes qui sont la continuité du fin réseau de la zone centrale. D'autres formations fibreuses importantes, les

fibres de von KORFF, s'insinuent entre les odontoblastes et s'étalent en éventail jusque sous les adamantoblastes. Ces dernières fibres siègent uniquement dans la zone marginale pulpaire et constituent un apport important de collagène pour la trame organique dentinaire. Elles jouent le même rôle vis-à-vis de la dentine que les fibres de SHARPEY vis-à-vis du tissu osseux.

Les odontoblastes sont des cellules allongées et cylindriques mesurant en moyenne 30 microns sur 8 microns environ de diamètre. Ils sont caractérisés, rappelons-le, par ce long prolongement cytoplasmique distal intradentinaire : la fibre de TOMES.

LA DENTINE

D'origine mésenchymateuse, la dentine présente une grande analogie avec le tissu osseux. Comme nous l'avons vu, elle renferme une trame organique, constituée principalement par du collagène, sur laquelle sont fixés des éléments minéraux. La proportion de sels minéraux est plus élevée que dans l'os (70 % environ), comprenant une combinaison phospho-calciqque du type hydroxyapatite ou phosphate tricalcique apatitique, du carbonate de calcium, du carbonate de magnésium et divers cations de moindre importance. Mais contrairement au tissu osseux, la dentine ne renferme pas de cellules totalement incluses. Les ostéoblastes se laissent englober dans la substance intercellulaire calcifiée alors que les odontoblastes demeurent en bordure de la dentine et que leurs prolongements cytoplasmiques (représentant un volume quatre fois plus important que celui du corps cellulaire) seuls structurent la masse dentinaire.

La dentine est parcourue par les très nombreux canalicules, ou tubuli dentinaires, dont on distingue deux types suivant l'importance de leur parcours et leur diamètre : canalicules principaux et canalicules secondaires.

Les premiers partent de la surface de la pulpe et traversent toute la masse dentinaire pour se terminer à la ligne de jonction émail-dentine. Les seconds, plus fins, ne sont que des ramifications et des bifurcations des précédents.

La substance intercanaliculaire est constituée par la trame organique collagène qui subit la minéralisation. Les fibres collagènes sont en général disposées perpendiculairement aux canalicules. Les lignes de moindre minéralisation sont les lignes de von EBNER. D'autres accidents de minéralisation sont représentés par les espaces interglobulaires de CZERMAK et, tout le long du cément, la couche granuleuse de TOMES.

La minéralisation de la dentine débute à la jonction pré-dentine-dentine. Selon B. KEREBEL, il existe trois modes de minéralisation : "une minéralisation globulaire, déposition semi-circulaire des cristallites autour des points de minéralisation ; une déposition concentrique régulière des cristallites minéraux suivant la direction de la trame collagène ; enfin une minéralisation parallèle à la direction des canalicules".

Le prolongement cytoplasmique de l'odontoblaste représente l'élément vivant de la dentine. Ces fibres de TOMES se logent dans les espaces canaliculaires, mais ceux-ci se rétrécissent peu à peu au cours de la vie de la dent. Une surminéralisation peut alors les imprégner et faire disparaître les fibres de TOMES. Les canalicules se calcifient, la dentine devient plus homogène. Le tissu dentinaire présente en effet des aspects structuraux différents, non seulement en fonction de l'âge, mais aussi en fonction de stimuli physiologiques ou physiopathologiques.

La DENTINE PRIMAIRE qui s'est édiflée de façon continue au cours de la formation de la dent avant son éruption, est une dentine régulière, car elle fut soustraite à tous les stimuli externes. Les tubuli sont réguliers et parallèles.

La DENTINE SECONDAIRE PHYSIOLOGIQUE se constitue lentement tout au long de la vie de la dent adulte. Les tubuli, moins nombreux et dont le parallélisme est déjà moins rigoureux, sont en continuité avec ceux de la dentine primaire, mais une démarcation nette due à leur brusque courbure est souvent observée.

La DENTINE TERTIAIRE, pour KEREBEL, englobe toutes les formes de dentine réactionnelle qui recevaient auparavant les noms les plus divers (dentine de protection, dentine néoformée, dentine secondaire irrégulière, dentine pathologique, dentine secondaire réparatrice, dentine réactionnelle adventice). Il s'agit de dentine formée après l'éruption de la dent et modifiée par divers processus pathologiques : caries, traumatismes, ou abrasion. Les tubuli sont irréguliers, beaucoup moins nombreux et ne sont pas en continuité avec ceux de la dentine normale. Ils peuvent être complètement obstrués par la minéralisation. Consécutive à la préparation de cavités, à la réaction à divers matériaux d'obturation, à la carie ou à l'abrasion, la dentine tertiaire a été bien étudiée expérimentalement chez le rat et le chien et on l'appelle encore souvent "réparatrice". La réaction calcio-traumatique est plus ou moins marquée, la réponse dépendant de la profondeur de la cavité.

Citons encore la dentine translucide ou scléreuse qui est l'aboutissement d'un processus normal de maturation. Le cytoplasme intratubulaire est progressivement remplacé par un matériel calcifié qui prend le même aspect structural que la dentine péritubulaire. La transparence est alors due au même indice de réfraction, et du contenu tubulaire, et de la substance péritubulaire.

Cette classification des différentes dentines et la connaissance des modifications structurales qui les caractérisent étaient importantes pour aborder le problème de la pénétration transdentinaire et pour déterminer les conditions de recherche sur ce sujet.

4. LA SENSIBILITE DENTINAIRE

L'existence d'une innervation spécifique de la dentine n'est pas unanimement reconnue. Cependant, la sensibilité dentinaire ne fait l'objet d'aucun doute. La dentine réagit aux stimuli mécaniques, thermiques et physico-chimiques par une sensation douloureuse. On sait que la pulpe est très richement innervée, mais la continuité de ses fibres nerveuses jusque dans la dentine est hypothétique.

L'étude histologique par imprégnation argentique est difficile dans le tissu dentinaire car toutes les fibres ont tendance à s'imprégner, qu'il s'agisse de fibres nerveuses ou de fibres conjonctives, en l'occurrence des prolongements cytoplasmiques des odontoblastes. Néanmoins, on a pu suivre le trajet de certaines fibres nerveuses pulpaires, mais seulement jusque dans la pré-dentine où elles cheminent dans les espaces extracanaliculaires, sporadiquement dans les canalicules et dans ce cas sur un parcours réduit. Beaucoup plus rares encore, quelques-unes passent dans la dentine calcifiée. Elles ne sont pas en nombre suffisant pour expliquer la transmission intradentinaire des sensations. Si les odontoblastes étaient des cellules sensorielles, ils devraient tous recevoir par voie synaptique des terminaisons de fibres nerveuses qui transmettraient les stimuli. Puisque même le microscope électronique n'a pu le démontrer, quel autre processus permet alors à l'odontoblaste de jouer cependant le rôle de récepteur de la sensibilité ? Il existe une explication tenant compte des conditions physiques locales et qui, de ce fait, nous a semblée fondamentale pour l'objet de notre recherche. Selon J. RACADOT et R. WEILL :

"L'ensemble odontoblaste + fibre de TOMES formerait un élément capable d'être perturbé mécaniquement avec une grande facilité, en raison du caractère inextensible de la paroi du canalicule et de la turgescence de la

pulpe elle-même. Un ébranlement atteignant la fibre de TOMES affecterait l'odontoblaste et pourrait agir sur les fibres nerveuses qui l'entourent s'il y a DEPLACEMENT, sans que la cellule soit nécessairement de nature nerveuse. Les expériences de BRÄNNSTRÖM sont particulièrement intéressantes à considérer à ce point de vue.

a) La pression exercée par un solide sur la dentine dénudée n'est pas douloureuse, les forces se répartissant sur la matière minéralisée. Au contraire, la pression liquide ou gazeuse entraîne une sensibilité parce qu'il y a PENETRATION du liquide ou du gaz dans les canalicules ;

b) La pression négative obtenue par chaleur sèche (évaporation) ou par courant d'air (qu'il soit froid ou chaud) agit aussi en provoquant la douleur ; on observe alors histologiquement une aspiration des odontoblastes vers les canalicules par attraction capillaire allant jusqu'à la pénétration intracaniculaire des noyaux (déplacement de 150 μ environ). C'est l'évaporation au niveau de la partie périphérique des canalicules qui serait dans ce cas à l'origine du déplacement et responsable de la sensation;

c) Une pression réalisée dans la pulpe à partir de l'apex provoque aussi le déplacement des odontoblastes lorsqu'ils font face à une zone de dentine exposée ; il peut y avoir, là encore, pénétration des cellules dans les canalicules.

Ces expériences soulignent donc les effets brutaux des forces capillaires susceptibles de s'exercer dans les canalicules de la dentine exposée. Notons que les canalicules se résolvent à la périphérie en branches secondaires qui s'entremêlent ; tout stimulus atteignant la limite émail-dentine, si localisé soit-il, agit sur plusieurs odontoblastes à la fois. C'est sans doute là l'origine de la plus grande sensibilité de cette région".

Les odontoblastes ne se présentent donc pas comme des cellules sensorielles classiques transmettant les excitations par voie synaptique. Cette interprétation de la sensibilité dentinaire, à partir d'un argument mécanique, est d'autant plus plausible qu'elle présente une certaine analogie avec une autre physiologie sensorielle bien connue : la physiologie auditive. L'endolymphe contenue dans le limaçon reçoit les vibrations de l'étrier par l'intermédiaire de la fenêtre ovale et grâce à l'élasticité de la fenêtre ronde. Les cils vibratiles transmettent alors mécaniquement les oscillations à l'organe de Corti sus-jacent. Le système endolymphatique de la fibre de TOMES enfermée dans le canalicule dentinaire accuse, lui, les différences de pression dues aux excitations mécaniques exercées au niveau de sa section. Celles-ci se répercutent alors jusqu'à l'odontoblaste et agissent par déplacement sur les fibres nerveuses qui l'entourent.

La sensibilité dentinaire ainsi interprétée met donc en jeu la faculté de propagation du canalicule dont l'intérêt nous est apparu commun à deux problèmes : celui de la sensibilité dentinaire que nous venons d'aborder et celui de la pénétration transdentinaire qui est l'objet de notre recherche.

Dans l'éventualité d'une interaction entre deux éléments, l'un biologique (la dentine), l'autre physique (l'obturation), la connaissance parfaite de la structure du premier est certes indispensable, mais elle doit être nécessairement complétée par l'étude des caractéristiques physico-chimiques du second. Cela nous conduit au deuxième chapitre : La restauration coronaire.

1. LES MATERIAUX CONVENTIONNELS D'OBTURATION

Certains principes fondamentaux s'imposent dans le choix d'une matière obturatrice. Ils sont d'ordre biologique, physiologique et mécanique. En effet, la restauration dentaire ne peut être pratiquée sans tenir compte de deux points essentiels : le rétablissement de la fonction partiellement perdue et les relations biologiques entre le matériau utilisé et les tissus dentaires avec lesquels il entre en contact. Ce deuxième point concerne directement notre sujet.

Il n'existe pas de matière obturatrice idéale car toutes les qualités souhaitées sont difficiles à réunir pour un même produit. Tel matériau présente des avantages pour un cas précis, tel autre des inconvénients. Le choix peut être guidé par un impératif esthétique ou par un impératif mécanique. Néanmoins, parmi les qualités requises, il semble y en avoir une pour laquelle l'intransigeance est de règle dans TOUS les cas à traiter : l'absence de toxicité pour l'organe dentaire. L'obturation est une thérapeutique, le "primum non nocere" s'impose.

Notre recherche a porté sur 3 matériaux conventionnels d'obturation :

- a) le ciment au silicate,
- b) le ciment à l'oxyphosphate,
- c) l'amalgame d'argent

a) LE CIMENT AU SILICATE :

Qu'il nous soit permis de faire un très bref rappel historique, car celui-ci nous conduira à nous poser une question d'importance qui semble toujours d'une grande actualité.

Le premier ciment dit "translucide" fut utilisé en Angleterre par FLETCHER il y a près de 100 ans. Après de nombreuses mises au point, la vulgarisation du produit se fit en 1904. Toutefois, dans son Traité de Dentisterie Opératoire, paru en 1908, G.V. BLACK n'en fait pas mention. Le ciment au silicate avait-il déjà motivé de telles controverses que G.V. BLACK s'abstint de prendre position ?

Dans une étude sur les ciments dentaires et la comparaison de leurs propriétés, R.W. PHILLIPS (M.S. Indianapolis) écrit en 1963 :

"Le ciment au silicate n'est pas un matériau idéal d'obturation à cause de son acidité. Son pH au moment de son insertion est seulement à 1,6. En outre, il peut rester tout à fait bas pendant des périodes beaucoup plus longues qu'on ne l'avait cru. Bien que le pH et la teneur en acide libre puissent ne pas être les seules causes de l'irritation pulpaire (cela suggéré par le fait que certains des composants du ciment pourraient produire des antigènes-corps) il s'agit bien en définitive d'un matériau hautement irritant. La lésion pulpaire possible est un risque particulièrement sérieux quand la cavité est profonde et que l'épaisseur de la dentine de protection

est de moins de 100 microns environ. Une sensibilité se produira indubitablement plus souvent avec un tel ciment qu'avec un ciment au phosphate de zinc...

... Ainsi, bien que leur solubilité soit plus basse et que l'amélioration de la protection puisse être obtenue par l'addition de sel de fluor dans la poudre, une irritation plus grande de la pulpe et des caractéristiques défavorables de manipulation limitent leur usage".

PRINCIPES GENERAUX

Les phénomènes qui se déroulent au cours de la prise sont à considérer. Il se forme un gel silicique acide par la combinaison de grains de poudre avec le liquide. Lorsque l'acidité a suffisamment baissé, des particules de poudre restent à l'intérieur du gel (ainsi que de l'eau de condensation de la polymérisation). Seulement 10 % de la poudre participent à la formation du gel qui, lui, occupe 25 % du volume final. D'autre part, la réaction se fait sur la surface de chaque grain de poudre dont le centre reste alors emprisonné dans le gel. Cette condensation de gel qui se produit d'emblée et rapidement autour de chaque grain aura tendance à ralentir la réaction. Celle-ci va donc se prolonger assez longtemps après la prise initiale et, pendant cette période, il y aura une certaine quantité d'acide phosphorique libre. C'est cet acide phosphorique demeuré libre que l'on a généralement tenu pour responsable des désordres biologiques des dents restaurées au silicate. D'autres théories récentes font également intervenir la toxicité des alumino-phosphates ou de la silice (R.H. ROYDHOUSE). Mais c'est la pénétration d'acide phosphorique dans les tissus environnants qui a retenu le plus l'attention de nombreux chercheurs préoccupés de l'effet nocif éventuel exercé par les ciments au silicate.

EXPERIMENTATIONS ANTERIEURES ET DIVERSITE DES RESULTATS

Y. TAKADA (Tokyo) fit en 1958 des recherches de pénétration d'acide phosphorique radioactif sur des dents de chien in vivo. Il conclut, grâce aux autoradiographies qu'il pratiqua à partir de coupes, à une pénétration effective dans les canalicules dentinaires au bout de deux jours de présence du ciment au silicate dans les cavités.

A. PECCHIONI (Modène) reprit en 1962 le même principe de recherches (in vivo et in vitro) sur la perméabilité des différentes structures de la dent de chien, et aussi de la dent humaine, au liquide du silicate. Ses conclusions furent très restrictives, ne faisant état que d'une pénétration modérée au niveau de la jonction émail-dentine et chez des sujets jeunes. L'excellente rigueur dans la préparation du ciment devait éliminer, selon lui, les risques de pénétration par absence d'acide libre. Toutefois, dans l'éventualité contraire, il précisait :

"On pourrait admettre qu'une partie de l'acide orthophosphorique libre soit bloquée au niveau des régions dentinaires translucide, opaque ou secondaire ; in vivo, au niveau des dents avec cavité artificiellement préparée, on peut vérifier le phénomène décrit par FISH, en vertu duquel il intervient une interruption presque totale du courant humoral à l'égard du passage des matériaux vers l'intérieur de la dent".

J. STÜBEN et H. GODT firent, en 1964, une critique des résultats négatifs généralement obtenus par A. PECCHIONI. Ils expliquèrent que, d'une part, l'acide orthophosphorique marqué qui avait été utilisé pour les expériences in vivo était d'une activité spécifique trop faible (5 μ c) et que, d'autre part, pour les expériences in vitro, les dents ayant séché quelque temps à l'air, l'acide libre ne pouvait pénétrer profondément dans la dentine. En effet, selon ces auteurs, la condition nécessaire à la diffusion de l'acide serait la

présence normale de liquide dans les canalicules dentinaires. La perte d'une quantité importante de ce liquide empêcherait la pénétration d'acide en profondeur dans la dentine. STÜBEN et GODT vérifièrent cet argument sur des dents extraites. Après séchage de la cavité par un courant d'air chaud, ils procédaient à la pose de la restauration au silicate isotopé. Les images autoradiographiques obtenues ne permettaient de constater qu'une pénétration très faible, pouvant même être nulle. Ils reprirent alors leurs expériences in vivo en évitant toute déshydratation des structures de la dent d'une part, et d'autre part, en utilisant un liquide de ciment auquel ils ajoutèrent une quantité d'orthophosphate radioactif en solution aqueuse. L'activité finale du liquide représentait 0,3 mc/ml. Ils enregistraient de cette manière des résultats tout à fait positifs. Les autoradiographies témoignaient de pénétrations pouvant atteindre 1 à 3 mm dans le tissu dentinaire des dents humaines. La démonstration du bien fondé de leur critique concernant les points faibles de l'expérimentation de PECCHIONI (séchage in vitro et activité spécifique trop réduite de la solution d'acide phosphorique in vivo) semblait être faite.

Cependant ces derniers résultats furent interprétés avec nuance par J.C. HESS. Cet auteur pense qu'ils prouvaient une migration d'ions phosphore plus qu'une pénétration d'acide. En tout état de cause, si acide libre il y a, avec ROYDHOUSE (qui est de ceux qui font intervenir d'autres éléments toxiques que l'acide) on ne pourrait négliger le rassurant pouvoir tampon des fluides intratubulaires qui seraient alors capables de neutraliser une agression acide. Mais cette action tampon peut-elle être vraiment suffisante vis-à-vis de l'acidité considérable des ciments au silicate au moment de leur insertion (pH = 1,6) ?

Avant d'entreprendre leurs recherches sur la diffusion elle-même, J. STÜBEN et H. GODT avaient d'ailleurs déterminé, préalablement, la "valeur acide" des ciments pendant et après la période de durcissement. Pour ce faire,

ils avaient placé de petits cubes de différents ciments, à la fin de leur phase de durcissement primaire, dans des solutions tamponnées de pH constant à 6,6. Pour déterminer la quantité d'acide cédée au bout d'un certain temps par l'échantillon dans la solution environnante, ils avaient fait des mesures du pH de l'éluat obtenu. Ils le neutralisaient avec certaines quantités de solution de Na OH titrée. Cette expérimentation prouva, d'une part, la cession de substances acides et démontra, d'autre part, que la quantité cédée par des silicates est beaucoup plus forte que celle provenant d'oxyphosphates (rapport d'environ 100 à 1). Indéniablement, l' "environnement" de l'obturation au silicate subit une forte agression acide.

A ce sujet, nous devons citer encore les travaux récents, en 1969, d'ANTONIOLI (Suisse) qui fit une étude très précise de pénétration des ions H^+ provenant de différents ciments dont un ciment au silicophosphate et un au phosphate. L'auteur utilisa uniquement des dents incluses, fraîchement extraites chez des sujets de 20 à 40 ans. Sur des coupes de 0,1 à 0,4 mm d'épaisseur, le produit d'obturation (ou de scellement) était étalé sur une surface de section constante. Le tout étant plongé dans une solution de chlorure de potassium saturée à 31 %, les variations d'acidité furent mesurées au moyen d'un potentiomètre avec une précision de l'ordre de 2 pour 1 000. Les résultats ont montré qu'au cours du durcissement des ciments, une partie de l'acide libre passe à travers la coupe de dentine. D'autre part, la courbe de pénétration des ions acides accuse une décroissance de l'acidité en fonction de l'épaisseur des coupes et l'auteur pense que cela serait dû au rôle autoprotecteur de la dentine se manifestant lorsque l'épaisseur augmente. Il conclut que la pénétration d'acide phosphorique libre est maximale avec les ciments au silicophosphate de zinc, mais que la pénétration à partir de ciments au phosphate reste suffisante pour abaisser le pH intérieur de 1 à 2 unités.

D'un point de vue tout à fait différent, dans la pathogénie des désordres pulpaire constatés sous des silicates posés "à vif" sur la dentine dénudée, la lésion initiale et tout simplement mécanique de la fibres de TOMES a souvent été substituée à la toxicité de l'acide. Au cours de la préparation d'une cavité, nous pratiquons en quelque sorte une mérotomie sur l'odontoblaste. Le prolongement cytoplasmique est sectionné tandis que le fragment nucléé reste intact dans la pulpe. Les expériences de mérotomie sur divers types de cellules ont depuis longtemps prouvé que le fragment cellulaire possédant le noyau pouvait survivre. Après la simple intervention mécanique sur sa fibre de TOMES, l'odontoblaste doit donc survivre. Dans le cas contraire, ce sont des agressions surajoutées (traumatiques, thermiques ou chimiques) qui entraînent les lésions irréversibles.

En résumé, la multiplicité des théories, des recherches et des résultats ne semble pas avoir apporté une réponse définitive au problème de la toxicité des silicates. Il en ressort toutefois plusieurs éléments positifs :

- 1° - La structure dentinaire semble très favorable à la diffusion d'un élément demeuré libre au cours d'une polymérisation.
- 2° - Le ciment au silicate est un matériau très acide dont la prise se prolonge assez longtemps et permet une cession d'acide qui a été contrôlée.
- 3° - Le pouvoir tampon des fluides tissulaires en général peut neutraliser les agressions acides mais la "valeur acide" des silicates semble a priori disproportionnée par rapport à l'action tampon espérée de la part du fluide intratubulaire.

4° - D'autres éléments toxiques ont été néanmoins recherchés mais, qu'il s'agisse d'aluminophosphates ou de sels de silice, leur manque de solubilité dans l'eau cytoplasmique fait douter de leur migration possible (à moins qu'ils ne soient en solution acide, laquelle ne peut alors prouver l'action spécifique de ces sels métalliques).

Pour ces raisons, l'hypothèse classique de la diffusion d'acide nous a donc semblé garder toute sa valeur.

b) LE CIMENT A L'OXYPHOSPHATE :

Les recherches que nous venons de mentionner à propos des ciments au silicate ont en général aussi porté sur les ciments à l'oxyphosphate. Les divers travaux furent d'ailleurs menés parallèlement sur les deux types de ciments et cela en vue d'une étude comparative, l'acide phosphorique étant "le dénominateur commun" de ces deux matériaux.

Chimiquement, il s'agit en fait, rappelons-le, d'un ciment à l'orthophosphate. Bien que relativement limitées, on reconnaît en général à ce ciment quelques propriétés physiques indésirables. La réaction de prise est fortement exothermique (+ 4 à 10°C.) ce qui explique une sensibilité dentinaire pouvant apparaître pendant le phénomène. La prise du ciment s'accompagne d'une contraction de la masse cristalline, surtout au contact de l'air. D'autre part, sa structure lui confère une certaine porosité. L'acide phosphorique attaque en effet la surface de chaque grain de poudre, en laissant une infime partie chimiquement non assimilée, ce qui entraîne un manque d'homogénéité de la masse cristalline.

Ses propriétés biochimiques sont d'un plus grand intérêt pour notre sujet. Sa solubilité est faible dans l'eau, mais elle est accrue par les acides

organiques de la cavité buccale. Les acides lactique et sulfhydrique provoquent une érosion rapide du ciment et finissent par le désagréger. L'acidité propre du ciment à l'orthophosphate lui donne un léger pouvoir bactéricide, mais cette même acidité a été également mise en cause dans l'étude de sa toxicité. Qu'il s'agisse de ciments au silicate ou de ciments à l'orthophosphate, au moment de leur insertion dans une cavité, le pH est aussi bas pour l'un que pour l'autre, c'est-à-dire à 1,6. Mais au bout de 24 à 48 heures, il se fixe aux environs de 6 pour les silicates et aux environs de 7 pour les orthophosphates. Lorsque STÜBEN et GODT établirent la "valeur acide" des deux types de ciments après leur phase de durcissement primaire, celle-ci s'avéra dans tous les cas moins importante pour les ciments au phosphate que pour les ciments au silicate. Néanmoins, pour ce qui est du ciment à l'orthophosphate, il s'agit bien encore, on le sait, d'un matériau irritant, particulièrement dans les cavités profondes ou à extension préventive importante.

Nous pensons pouvoir conclure avec R. PHILLIPS qui écrivait en 1963 :

"On pense depuis longtemps qu'une protection de la dentine - et ainsi de la pulpe - pourrait convenir toutes les fois qu'on emploie un ciment à l'acide phosphorique. La sensibilité pourrait être ainsi réduite. Une méthode de protection sous les ciments au phosphate de zinc ou au silicate ressort de la routine en dentisterie opératoire".

L'acide phosphorique reste donc l'accusé n° 1 pour les deux ciments cités.

c) L'AMALGAME D'ARGENT :

De tous les matériaux destinés à l'obturation des cavités, l'amalgame est certainement le plus utilisé. Le composé binaire, intermétallique argent-étain étant la base de l'alliage, des spécifications furent rédigées par l' "American Dental Association". La Suisse a également établi des normes de composition et le Codex français a fixé des essais limites. Les proportions des

constituants varient de 65 à 70 % pour l'argent, de 25 à 27 % pour l'étain, de 1 à 2 % pour le zinc et de 5 à 6 % pour le cuivre. Mais ajoutons que l'or ou le platine que l'on peut faire entrer dans la composition ne sont pas considérés comme corps étrangers. Ceci était important pour notre recherche car nos amalgames furent marqués à l'or radioactif.

L'action biologique locale et l'effet sur la pulpe dentaire des restaurations à l'amalgame ont suscité de nombreux travaux relevant de différentes disciplines : histologiques, spectrographiques ou autoradiographiques. LANGE LAND, en 1957, a décrit des réactions minimales telles que des réactions vasculaires au niveau et autour de l'assise légèrement réduite des odontoblastes au bout de 2 jours. En 1960, BRÄNNSTRÖM a observé le même phénomène, mais en notant une formation de dentine secondaire, après quelques semaines. Deux années plus tard, les recherches menées par STANLEY et ZWERDLOW ont fait état de réactions plus accentuées : accumulation importante de polynucléaires neutrophiles entre la pré dentine et l'assise des odontoblastes avec parfois, selon ces auteurs, des abcès dans certains cas. MÖR, en 1963, n'a cependant relaté de sévères réactions pulpaires que lorsque l'amalgame était au contact de la pulpe.

Il est évident que la profondeur de la cavité a une grande importance, mais, d'autre part, il est difficile de discerner l'action propre de l'amalgame de celle de l'infiltration marginale ou même de celle de la préparation de la cavité. BRÄNNSTRÖM et plus récemment DACHI et STIGERS, en 1967, pensent que l'infiltration marginale est le facteur déterminant des réactions pulpaires parfois observées.

Enfin les derniers travaux de L.E. GRANATH et B. MÖLLER (Suède 1969) apportent les conclusions suivantes :

1) La tendance à retrouver des réactions plus légères sur des dents observées après un mois, par rapport à celles observées après une semaine,

ferait déduire que les altérations locales sont réversibles.

2) Quand il y a corrosion, une hypothèse est formulée : la corrosion libère du mercure qui peut agir sur la pulpe comme le surplus d'un amalgame fraîchement préparé.

De toutes ces différentes recherches, il ressort que les effets de l'amalgame sur la pulpe dentaire sont variables dans leur fréquence, leur intensité et leur étiologie. Des réponses pulpaires ne sont pas observées dans tous les cas, des barrières physiologiques peuvent s'ériger et si la profondeur de la cavité joue un rôle indiscuté, la toxicité du mercure est incriminée par certains, l'infiltration marginale par d'autres. Il y aurait donc lieu de distinguer deux sortes de facteurs dans l'étiologie des réactions pulpaires sous amalgame : les facteurs extrinsèques tels que le traumatisme dû à la préparation de la cavité ou l'infiltration marginale, facteurs qui peuvent être éliminés en majeure partie par une technique appropriée, et le facteur intrinsèque qui s'avérera déterminant si les autres facteurs sont écartés : nous voulons dire la toxicité du mercure. Excluant le cas relevant de la faute opératoire qui met le matériau en contact direct avec le tissu pulpaire, le problème se résout alors à la recherche d'une pénétration transdentinaire d'ions mercure ou de certains composants de l'amalgame. Ajoutons que si, pour cette recherche, nous réduisons au maximum le risque d'infiltration marginale par des observations précoces (quelques jours) - et cela est possible en utilisant des produits marqués - nous réduisons de surcroît les chances d'une édification de dentine secondaire qui demande un certain laps de temps et qui établirait une barrière à la pénétration à rechercher.

Tout comme pour les ciments dentaires, l'action biologique de l'amalgame pourra donc se définir par la pénétration transdentinaire que l'on enregistrera. Mais la perméabilité du tissu receveur constitue un paramètre important dans l'étude d'un phénomène de diffusion, surtout lorsqu'il s'agit de

molécules assez grosses. L'emploi des différents produits d'obturation mis à notre disposition est fonction, on le sait, de la structure de la dent et plus précisément de la perméabilité dentinaire. C'est pourquoi nous avons eu à considérer ce dernier point avant notre expérimentation.

2. EMPLOI DES MATERIAUX D'OBTURATION EN FONCTION DE LA PERMEABILITE DENTINAIRE

a) LA PERMEABILITE DENTINAIRE

"Il faut surtout, et seulement, restaurer les dents présentant de la dentine réactionnelle qui oblitère les tubuli de l'ivoire" écrit J.C. HESS (E.M.C. Stomatologie, Tome 5, 1968). L'imperméabilité de la dentine réactionnelle est encore discutée par certains auteurs, mais retenons de cette règle énoncée par J.C. HESS que la pose d'une obturation ne pourrait être envisagée que sur des tubuli "préoblitérés", si l'expression nous est permise. Il existe donc bien, si tous les produits que nous utilisons ne sont pas parfaitement neutres, des risques inhérents à la perméabilité dentinaire normale. Quelle est la valeur de cette perméabilité ? Lorsque cette question se pose, le problème revêt deux aspects différents : un aspect physique (structural et dimensionnel) et un aspect chimique (plus exactement biochimique).

Le diamètre des tubuli atteint 2 à 3 microns au voisinage de la pulpe et 1 micron à leur pôle opposé. A. MARMASSE écrit :

"La fibre de TOMES occupe le centre de chaque canalicule : les auteurs ne sont pas d'accord sur le fait qu'elle occupe tout le canalicule ou qu'elle est entourée, soit d'une gaine (gaine de NEUMANN), soit d'un milieu

liquide (lymphe dentaire).

De toute façon, des échanges intradentaires se produisent, soit par l'intermédiaire de ce liquide, soit par les ramifications arborescentes des fibres entre elles, qui ont lieu à tous les niveaux, mais particulièrement dans la zone périphérique. Ces échanges ont été démontrés par le transport de colorants et on peut parler de "circulation" dans l'ivoire.

... Le calibre des canalicules dentinaires est tel que les microbes peuvent parfaitement les occuper, les envahir et on peut assister au transport jusqu'à la pulpe de germes infectieux sans autre mode de pénétration que cette voie transdentinaire".

Le nombre des tubuli a été évalué, dans la dentine coronaire où il est le plus élevé, à plus de 30 000 par millimètre carré. On conçoit ainsi combien une pénétration de quelque nature qu'elle soit peut être facilitée dans une telle structure cruentée par la fraise.

En outre, selon B. KEREBEL, la perméabilité dentinaire relève de deux processus : celui de diffusion à travers la surface cytoplasmique de la fibre de TOMES et même encore celui de diffusion à travers un solide qui est la substance intercanaliculaire. Or, on reconnaît à la dentine une certaine solubilité dans les acides. L'acide orthophosphorique entraîne bien en effet une décalcification de la substance intercanaliculaire, et s'il faut tenir compte de la diffusion à travers la substance elle-même, elle s'en trouvera augmentée lors d'une agression acide ayant entraîné sa décalcification.

Pour ce qui est de la diffusion à travers le contenu de la structure tubulaire, il s'agit en fait d'un problème biochimique de perméabilité cellulaire. Le nom impropre, mais consacré par l'usage, de "fibres de TOMES" correspond bien, on le sait, à un procès cytoplasmique intradentinaire de la

cellule pulpaire : l'odontoblaste. En général, la perméabilité cellulaire est un phénomène complexe. Plus les molécules sont petites, plus elles ont de facilité à traverser la surface cellulaire. Les molécules de moins de 30 angstroems la traversent facilement. Mais cette surface cellulaire est de structure complexe, encore mal connue, assez variable, protéique et lipidique en général. Si bien que les anesthésiques par exemple, substances solubles dans les lipides, pénètrent facilement dans la cellule. Il faut ajouter aussi que l'eau est un constituant essentiel du cytoplasme et la solubilité des substances dans l'eau est un des facteurs à considérer aussi dans le phénomène de diffusion intracellulaire.

On a évalué la perméabilité de la dentine en fonction du passage de colorants ou de radioisotopes. Il en est résulté que la dentine est perméable dans les deux sens, depuis la pulpe comme depuis la jonction émail-dentine, mais cette perméabilité dentinaire tend à diminuer avec l'âge. En effet, la dentine jeune, ou une dentine mal minéralisée (ou déminéralisée) est beaucoup plus perméable aux corps marqués que la dentine mature. On a pu conclure que la perméabilité dentinaire était plus grande que celle de l'émail et plus faible que celle de l'os.

La vitalité et la perméabilité de la dentine étant reconnues, il s'avère impossible d'exécuter des restaurations dentaires comme dans une matière inerte et le titre, à lui seul, du récent article de J.C. HESS (Information dentaire, 1970, n° 11) : "La dentisterie opératoire n'est plus, voici l'endodontie" devient en quelque sorte le nouveau code de notre spécialité.

Si l'emploi des matériaux d'obturation ne peut être considéré qu'en fonction de la perméabilité dentinaire, c'est que la condition idéale de pose d'une restauration sur une dentine "murée" n'est pas toujours remplie. Il y aura donc lieu de classer les matériaux couramment utilisés sous les rubriques

suivantes :

- les obturations dentinogènes
- les obturations neutres et
les obturations toxiques.

b) LES OBTURATIONS DENTINOGENES

Les avivements brutaux de la dentine au cours de la préparation d'une cavité, non seulement laissent les canalicules béants, mais encore, par le traumatisme opératoire, peuvent interrompre temporairement la fonction dentinogénique qui est déjà normalement une réaction odontoblastique lente. Elle est pourtant plus que jamais recherchée pour assurer à l'assise de la restauration une véritable barrière physiologique. On pensa donc à utiliser des substances favorisant l'organisation d'une zone de dentine réactionnelle. Pour ce faire, l'eugénate ou encore une pâte à l'hydroxyde de calcium sont couramment employés. On fit des vérifications histologiques trois mois après la mise en place de ces "coiffages dentinaires" et on constatait l'apposition d'une dentine réactionnelle.

D'une part, ces substances inorganiques stimulent l'activité cellulaire assumant la fonction dentinogénique, mais, d'autre part, certaines de leurs qualités facilitent la dentinogénèse en neutralisant les facteurs qui annihileraient cette activité. On pourrait presque dire que c'est une mise hors d'état de nuire de la toxicité acide, de la toxicité microbienne, ou de la simple irritation de la fibre de TOMES blessée, grâce à l'alcalinité, à l'action antiseptique ou au pouvoir sédatif et cicatrisant de ces produits.

c) LES OBTURATIONS NEUTRES ET LES OBTURATIONS TOXIQUES

Il semble logique de penser que la qualité essentielle d'une obturation neutre serait de présenter une stabilité physico-chimique telle qu'à aucun moment, elle ne pourrait céder un élément, ou partie d'un élément quel qu'il soit, à son "environnement". Or, il faut considérer le mode d'utilisation des matières obturatrices. Il s'agit bien de l'insertion dans une cavité d'un matériau présentant la plasticité requise pour la mise en place et l'adaptation. Le phénomène de prise est prévu pour apporter ensuite la dureté imposée par le rétablissement de la fonction et la pérennité de la restauration. Cette technique fait donc appel, pour permettre le passage de l'état plastique à l'état solide, à certaines réactions chimiques qui se dérouleront alors que le matériau d'obturation repose déjà sur une assise tissulaire dont la perméabilité est reconnue.

On sait que les conditions idéales de la prise seraient la "mobilisation" des constituants dans leur totalité. La réalisation de ce critère est malheureusement très difficile pour les ciments à l'acide phosphorique. La cristallisation se ralentit au fur et à mesure que les structures s'établissent à la surface de chaque particule de poudre et l'acide demeurant libre devient alors un facteur certain de toxicité.

Nous pensons pouvoir en déduire qu'il ne peut s'agir de produits véritablement neutres lorsqu'on fait appel aux procédés d'obturation définis par ce type de réactions chimiques que nous qualifierons d' "extemporanées". Il en est de même pour les autopolymérisations des résines acryliques dont on reconnaît l'action fâcheuse sur l'odontoblaste par pénétration rapide des tubuli par le monomère libre.

L'utilisation de l'amalgame repose aussi sur un phénomène de durcissement d'une masse d'abord plastique, mais le mécanisme est différent et l'intervention de l'opérateur plus importante. Il s'agit d'un alliage à froid et qui peut être effectué dans des conditions techniques optima. La préparation de l'amalgame, qu'il nous soit permis de le rappeler, comprend quatre phases essentielles :

- . le dosage des constituants
- . la trituration
- . l'élimination de l'excès de mercure
- . la condensation.

Ces différentes opérations sont facilement soumises au contrôle du praticien. Les deux premières correspondent pour les ciments, au dosage et au malaxage. Les deux dernières n'ont pas d'équivalent dans la préparation d'un ciment. Il s'ensuit que le contrôle de l'excédent de mercure et la condensation de l'amalgame par l'opérateur (auxquels s'ajoute encore l'action oligodynamique des ions argent), sont des "atouts" importants qui confèrent au matériau une supériorité incontestable de manipulation et de réalisation sur les autres produits "plastiques" d'obturation.

Au cours de la trituration, lorsque le mercure n'a que partiellement attaqué et dissout les grains du composé traditionnel de base, $\text{Ag}_3 \text{Sn}$, certaine quantité d'étain est libérée selon la réaction :



Mais l'étain entre à son tour en combinaison avec le mercure libre. Au fur et à mesure de la diffusion du mercure dans le composé intermétallique argent-étain, il se sera formé des composés complexes : $\text{Ag}_2 \text{Hg}_5$, $\text{Ag}_3 \text{Hg}_4$, $\text{Ag}_5 \text{Hg}_8$ et $\text{Sn}_3 \text{Hg}$ ou $\text{Sn}_7 \text{Hg}$ (NALLY). En effet, le mercure se combine très facilement avec l'argent et avec l'étain. Cette affinité et la possibilité d'élimination par

essorage du mercure excédentaire semblent donc pouvoir écarter au maximum la présence inopportune de mercure libre dont on pourrait redouter la pénétration transdentinaire.

De cette brève analyse, nous pensons pouvoir dégager les conclusions suivantes :

1° - Il n'y a pas de ciments véritablement neutres car la technique opératoire fait appel à des réactions chimiques qui se déroulent lentement au sein même du contexte biologique et plus encore se limitent d'elles-mêmes.

2° - La toxicité semble en rapport direct avec la présence d'un élément libre pouvant migrer dans les structures sous-jacentes perméables.

3° - Les conditions de préparation et de manipulation qui n'appartiennent qu'à l'amalgame éliminent une grande partie des risques de toxicité qui serait due à du mercure libre. A priori l'amalgame peut donc être considéré comme le moins toxique de nos produits d'obturation.

RECHERCHE EXPERIMENTALE
DE PENETRATION TRANSDENTINAIRE

C'est in vivo, sur la dent de rat, que nous nous sommes proposés de rechercher des phénomènes de pénétration transdentinaire à partir de produits d'obturation marqués aux radioisotopes. La morphologie et la répartition des structures de la molaire du rat adulte se rapprochent en effet de celles de la dent humaine comme nous le montrent les photographies n° 1 A et 2 A. Celles-ci représentent respectivement une coupe frontale (sens vestibulo-palatin) de première molaire supérieure de rat et une coupe sagittale (sens mésio-distal) de tout un groupe molaire.

Notre étude s'est divisée en 3 séries d'expériences :

- 1) une expérimentation à partir du ciment au silicate,
- 2) une expérimentation à partir du ciment à l'oxyphosphate,
- 3) une expérimentation à partir de l'amalgame d'argent.

En outre, nous avons eu la chance de pouvoir faire une observation sur dent humaine, mais uniquement pour le ciment au silicate.

a) PROTOCOLE D'ETUDE

Le déroulement de notre recherche fut établi selon le plan suivant :

- 1° - préparation de cavité in vivo et obturation au produit marqué.
- 2° - survie déterminée pour plusieurs animaux constituant des séries pour chaque matériau employé et pour chaque temps de survie préalablement fixé.
- 3° - sacrifice de l'animal - dissection du maxillaire, coupe de la dent obturée et désinsertion de l'obturation.
- 4° - radiographie immédiate de la coupe sans exposition prolongée sur l'émulsion. Développement.
- 5° - mise en place et serrage de la même coupe sur une autre émulsion - irradiation aux rayons X (5/10 de seconde) sans développement.
- 6° - conservation 20 heures de cette coupe en place sur l'émulsion, puis développement.
- 7° - photographies de la radiographie et de l'autoradiographie ainsi obtenues pour chaque coupe.

b) PRINCIPE DE L'INVESTIGATION

La "visualisation" de la pénétration recherchée pouvait se faire soit à l'aide de colorants, soit à l'aide de produits marqués faisant partie intégrante de l'obturation, ce deuxième procédé faisant alors appel à l'auto-radiographie. Nous l'avons précisément choisi pour plusieurs raisons :

- 1° - tout d'abord le colorant ne pouvait s'intégrer aux différents éléments de l'amalgame. Envisageable seulement pour les ciments, la coloration apporte en outre un risque de réaction chimique entre les différents constituants et le colorant.
- 2° - d'autre part, les dimensions moléculaires d'un colorant sont en général plus importantes que celles d'un ion PO_4 par exemple. Nous passons en effet de $12 \text{ \AA}$ pour la molécule de colorant au cristal violet à $2 \text{ \AA}$ environ pour l'encombrement du tétraèdre de l'ion PO_4 (Les études à partir de coloration ont surtout été effectuées pour des recherches de pénétration marginale où le hiatus entre la structure dentaire et l'obturation permet encore trop souvent l'infiltration).
- 3° - enfin, la corrélation entre les problèmes de pénétration des produits d'obturation et leur toxicité a guidé, si ce n'est suggéré, notre recherche. Cela étant, il nous est apparu plus logique d'essayer de suivre la pénétration d'un des composants lui-même de l'obturation en le marquant par un radioisotope.

Qu'il nous soit permis de rappeler très brièvement la définition d'un radioisotope :

"Les isotopes sont des corps ayant le même numéro atomique, donc les mêmes propriétés chimiques (leurs noyaux possèdent le même nombre de protons), mais ayant des masses différentes (leurs noyaux contiennent un nombre

différent de neutrons). La stabilité des isotopes est liée à celle du noyau, c'est-à-dire au rapport du nombre des neutrons au nombre des protons qu'il renferme. L'isotope est stable si ce rapport reste compris entre 1 et 1,5 environ. Il est instable s'il est supérieur à 1,5. Il est dit alors RADIOACTIF (radioisotope) car il se désintègre spontanément, en émettant des radiations".

Ce rayonnement peut impressionner un film photographique et l'image obtenue par l'application sur ce film d'une coupe de tissu contenant un corps radioactif précise ainsi sa répartition dans le tissu. Pour utiliser ce principe de l'autoradiographie dans notre recherche de pénétration, nous avons toujours soigneusement retiré l'obturation avant l'application sur le film afin d'éliminer le rayonnement du produit radioactif contenu dans le volume même de la restauration. De cette manière, l'émission des rayons β et γ enregistrée sur l'émulsion ne pouvait provenir que de la seule partie du produit marqué ayant migré dans les tissus environnants.

La photographie 3 A représente une coupe sagittale d'un groupe de molaires supérieures dont la première a reçu une obturation au silicate marqué. La photographie 4 A est celle d'un essai d'autoradiographie obtenue après 18 heures d'exposition de cette coupe sur le film, l'obturation radioactive ayant été maintenue dans la dent. L'image du rayonnement propre au ciment en place est si intense qu'elle empêche de discerner celle des particules radioactives qui auraient pénétré dans les tissus sous-jacents. Voilà pourquoi, au cours de notre expérimentation, nous avons toujours retiré les obturations avant l'application des coupes sur les films, la pénétration éventuelle devant être lisible et seule donc enregistrée.



c) LE MATERIEL D'ETUDE

1° - LES ANIMAUX

Nous avons traité 42 rats sur lesquels nous avons au total pratiqué 105 obturations (dont 14 non isotopées au début de notre expérimentation afin de nous permettre la mise au point de la technique opératoire).

Il s'agissait de rats albinos E.O.P.S., c'est-à-dire "exempts d'organismes pathologiques spécifiques". Ces animaux étaient de race "Whistar A.F." (Arlington farm) de souche de l'armée anglaise donnant des rats bien calibrés dont la standardisation est très valable. Nous avons utilisé uniquement des animaux adultes âgés de 3 à 5 mois et pesant en moyenne 300 grammes.

Les conditions de survie étaient les mêmes que celle de la vie normale de l'animal et en vérifiant son poids, nous n'avons jamais noté aucune dénutrition entre le jour de notre intervention et le jour du sacrifice du sujet.

2° - LES MATERIAUX D'OBTURATION

Nous avons expérimenté successivement :

- 1) un CIMENT AU SILICATE courant du commerce ;
- 2) un CIMENT A L'OXYPHOSPHATE, de fabrication courante également.

Le marquage de ces deux ciments se fit avec du P.32. La solution mère utilisée pour ce marquage était de l'acide phosphorique en solution aqueuse réf. P 32 s 3 (C.E.A. Saclay) d'activité spécifique égale à 100 millicuries par millimole. Une dilution à partir du liquide de chaque ciment fut préparée avec cette solution mère de manière à obtenir une solution dont l'activité était de 500 microcuries par centimètre cube, ce qui faisait environ 25 microcuries

par goutte de liquide au moment de l'utilisation.

Le P 32 a une période de 14,5 jours.

3) un AMALGAME D'ARGENT TRADITIONNEL.

On procéda au marquage de l'alliage de la façon suivante : 20 mg de poudre d'or radioactif (Au 198) furent incorporés à 20 gr de poudre de l'alliage. Ces 20 mg d'or radioactif présentaient une activité globale de 30 millicuries au moment de l'utilisation. L'activité du mélange des deux poudres métalliques était donc de 1,5 millicurie par gramme, soit 1 500 microcuries par gramme.

L'Au 198 a une période de 2,7 jours.

Nous avons dû tenir compte de la PERIODE des isotopes radioactifs incorporés dans nos produits d'obturation. Cela imposait à notre expérimentation un rythme déterminé ainsi que certaines limites dans sa durée. Le P 32 et l'Au 198 ont certes des périodes courtes mais, d'une part, la période d'un élément radioactif représente la durée nécessaire à la désintégration de seulement la moitié des atomes présents dans l'échantillon de cet élément et, d'autre part, la désintégration se poursuit longtemps encore en suivant une courbe de décroissance qui est une EXPONENTIELLE.

La "contrainte" dans le temps était donc parfaitement admissible pour le P 32 : nous pouvions l'utiliser un mois en étant sûrs de recueillir des radiations.

Pour l'Au 198, à la fin de son utilisation, nous en avons vérifié la radioactivité en en déposant quelques grains sur un film : l'émulsion fut fortement impressionnée (cliché 21 C).

d) TECHNIQUES UTILISEES

1° - L'ANESTHESIE

Les animaux furent traités sous anesthésie générale par injection intrapéritonéale de nembutal en solution sodique à 10 mg/ml. La dose utilisée pour chaque sujet était calculée en fonction de son sexe et de son poids :

- 5 mg (soit 0,5 ml de notre solution) par 100 grammes d'animal mâle
- 4 mg (soit 0,4 ml de notre solution) par 100 grammes d'animal femelle.

Nous obtenions ainsi un sommeil facile et rapide au bout d'une dizaine de minutes. Le réveil intervenait en général 25 à 30 minutes plus tard et dans de bonnes conditions. Avant sa réintégration dans l'animalerie (en cage individuelle étiquetée), nous réchauffions toutefois l'animal sous une lampe. En suivant cette technique, nous n'avons à déplorer, au cours de l'anesthésie, que 3 morts sur la totalité des rats (dont d'ailleurs 2 femelles sur les 6 traitées au total).

Tous les animaux furent sacrifiés par injection intrapéritonéale de la même solution sodique de nembutal mais à une dose dépassant de moitié celle utilisée pour l'anesthésie générale.

2° - INSTALLATION ET CONTENTION DE L'ANIMAL

Le sujet anesthésié était placé en decubitus dorsal sur une planchette rectangulaire, les 4 pattes fixées latéralement en extension. La tête de l'animal, bouche ouverte, était aussi maintenue en extension par un élastique passant derrière les incisives supérieures. Le crâne plat ainsi "plaqué" sur la planchette, les faces triturantes des molaires se présentaient sur un plan quasi horizontal, ce qui allait faciliter la réalisation de cavités de classe I.

La contention de la mandibule fut réalisée par un petit arceau que nous avons modelé en matière plastique transparente pour réduire le plus possible les inconvénients d'une ombre portée, la source lumineuse étant située au-dessus de l'animal.

3° - INSTRUMENTATION

Nous avons travaillé sous loupe binoculaire de grossissement x 15. Un tour électrique traditionnel à rhéostat au pied fut utilisé au ralenti entre 500 et 1 000 tours/minute.

Les cavités furent amorcées dans l'émail à l'aide de fraises rondes 000 au tungstène montées sur pièce à main pour les incisives et sur contre-angle pour les molaires. Les préparations dans la dentine furent terminées avec des fraises neuves classiques 000 "cône renversé".

Nous avons séché les cavités à l'air avec une seringue portant une aiguille fine sans biseau. Deux fins rouleaux de coton étaient disposés côté palatin et côté vestibulaire et maintenus par les pointes d'une seule précelle.

Nous avons dû confectionner des instruments suffisamment petits pour la mise en place des obturations dans les cavités et spécialement pour la condensation des amalgames. Pour ce faire, nous sommes partis de sondes n° 6 ou n° 17 que nous avons sciées à la hauteur voulue pour obtenir le diamètre correspondant à celui de nos cavités et les transformer ainsi en fouloirs. Nous en avons aplati d'autres avec un petit maillet pour en faire de minuscules spatules.

4° - CAVITES ET OBTURATIONS

1) Cavités sur incisives :

Nous nous étions primitivement proposé de ne traiter que la molaire du rat, mais nous nous sommes laissés tenter par la morphologie favorable et l'accès facile de l'incisive. Aussi avons-nous fait quelques préparations de classe V, ce qui nous réserva bientôt quelques surprises... En effet, cette dent est à croissance continue, permanente, et nous pouvons ajouter très rapidement, car l'animal traité et sacrifié après 5 jours présentait une obturation située presque au niveau du bord incisif alors que celle-ci avait été posée au collet 5 jours plus tôt !

Voilà pourquoi notre recherche de pénétration à partir d'obturations de classe V sur incisives n'intéresse que les premières séries d'animaux, ceux-ci ayant d'ailleurs reçu aussi et simultanément des obturations sur molaires.

2) Cavités sur molaires :

Suivant les données de C.G. MAURICE (Université d'Illinois) qui fut le premier à utiliser (en 1953) la molaire de rat pour étudier la réponse pulpaire aux préparations de cavités, l'épaisseur totale approximative de la dentine est de 600 microns. La hauteur des fraises 000 que nous avons utilisées étant comprise en général entre 600 et 700 microns, aidés par la loupe binoculaire, nous nous sommes efforcés de ne pas faire pénétrer dans la dent toute la hauteur de la fraise. Si nous avons eu cependant à déplorer quelques mises à nu de la pulpe, elles étaient localisées à une corne pulpaire. La première molaire supérieure de rat est en effet une dent pentaradiculée, multicuspidée et la topographie de la chambre "hérissée" de cornes pulpaires très effilées, nous

a souvent gênés. En outre, l'abrasion caractéristique des dents des rongeurs est une entrave pour repérer le point d'élection dans le sillon où l'on veut faire une cavité de classe I en évitant d'être au-dessus d'une corne pulpaire.

Avant de porter notre choix sur ce type de cavité, nous avons d'ailleurs fait quelques essais de pose d'obturations dans des préparations de classe V sur la face mésiale de la première molaire supérieure. Nous avons dû abandonner cette technique car la face mésiale, seule facilement accessible, manque de hauteur et cela nous obligeait à courir le risque d'une lésion gingivale. L'hémorragie s'ensuivait (nos pauvres rats n'étant pourtant point sous dicoumarol !) et la pose de l'obturation faite dans des conditions difficiles ne tenait que rarement plusieurs jours en bouche.

En résumé, notre recherche a été établie à partir d'obturations sur faces vestibulaires d'incisives supérieures, mais seulement pour les survies ne dépassant pas 5 jours, et à partir d'obturations triturantes sur premières molaires supérieures pour des survies allant jusqu'à 11 jours. Nous nous sommes efforcés de standardiser le volume des cavités en utilisant toujours le même type et numéro de fraise pour toutes les préparations et en n'agissant que par pression verticale très douce, jusqu'à une hauteur déterminée et sans aucun mouvement de latéralité.

3) Les obturations

Les ciments tout comme l'amalgame furent préparés selon les techniques habituelles.

Le malaxage du silicate et de l'oxyphosphate se fit sur plaque de verre. Les conditions étaient inchangées par rapport à un ciment normal, le liquide isotopé utilisé ayant sensiblement la même viscosité qu'un liquide

ordinaire, vu le procédé de marquage que nous avons déjà décrit.

La trituration de l'amalgame se fit manuellement dans un mortier. Les proportions furent respectées selon les normes d'un prédosé, le mercure d'une capsule étant utilisé pour le poids de limaille isotopée correspondant au poids de la limaille de la capsule. Le mercure excédentaire fut soigneusement éliminé par pression entre les doigts gantés de caoutchouc.

5° - L'AUTORADIOGRAPHIE

Les recherches avec des éléments marqués, et où l'autoradiographie est utilisée, dépendent entièrement de la qualité de l'image autoradiographique dans l'interprétation des résultats. Un certain nombre de facteurs définis par P. KAPSIMALIS, R. EVANS et M. TUCKERMAN en 1965, règlent la fidélité de l'autoradiographie.

1) Le contact parfait :

L'information ne peut être déterminante qu'en fonction tout d'abord du contact parfait de la coupe sur l'émulsion. Les radiations de l'isotope localisé sortent dans toutes les directions et il est indispensable de serrer rigoureusement la coupe de la dent sur l'émulsion photographique afin de réduire le plus possible la distance de la source au film. Celui-ci est exposé aux radiations avec une intensité qui est inversement proportionnelle au carré de la distance séparant l'émulsion de la source. Avec un meilleur contact le gradient de l'intensité augmente pour les molécules de sel d'argent situées directement au-dessus de la source de rayonnement et diminue pour les autres plus éloignées.

Les coupes, d'une épaisseur moyenne de 300 microns, furent réalisées à l'aide de disques plans au carborandum. On prit toujours soin de faire

tourner le disque vers l'extérieur de la cavité pour éviter l'entraînement de particules radioactives vers les tissus sous-jacents. Ces coupes furent placées sur une petite feuille de mousse de polyester épaisse de 2 mm et taillée à la mesure du film radio-dentaire Kodak périapical ultra-rapide que nous utilisions. Cette sorte de petite éponge très élastique sur laquelle reposaient donc les coupes fut introduite, en chambre noire, dans le sachet du film, de sorte que la mousse de polyester (qui est parfaitement transparente aux rayons X) se trouvait vers le tube. En dessous étaient les coupes bien appuyées contre l'émulsion. Le film refermé, nous le serrions entre deux plaques de verre taillées à la mesure et maintenues par de fortes pinces "à sous-verre" sur les petits côtés. C'est ainsi que nous avons obtenu le meilleur contact possible de la coupe sur l'émulsion et sans risque de rayer celle-ci.

2) Le type d'émulsion

Un autre facteur déterminant pour la qualité de l'autoradiographie est le choix du type de l'émulsion. Lorsque le temps d'exposition utilisé est constant, plus le film est rapide, plus on peut enregistrer de radiations. Cependant, on sait qu'un film perd de la finesse de grain lorsqu'il est plus rapide, mais nos autoradiographies n'avaient pas à être analysées sous très fort grossissement puisque nous nous étions proposés de faire une étude qualitative et comparative plus que quantitative. Dans ce cas, la taille du grain importait beaucoup moins que la sensibilité de l'émulsion et ce fut la raison pour laquelle nous avons porté notre choix sur le film Kodak ultra-rapide.

3) L'épaisseur de la coupe

Selon P. KAPSIMALIS, R. EVANS et M. TUCKERMAN, l'épaisseur de la coupe influence aussi la qualité de l'autoradiographie. Ces auteurs préconisent les 300 microns que nous nous sommes efforcés d'approcher dans la réalisation

de nos coupes, mais n'ayant pas eu à notre disposition le matériel nécessaire pour faire plusieurs coupes de différentes épaisseurs sur une même dent, nous n'avons pu comparer les résultats obtenus pour différentes dimensions. Nous avons bien réalisé des coupes d'épaisseur variant de 300 microns à 1 mm, mais sur différentes dents. La comparaison des résultats pour ces diverses coupes ne pouvait donc être valable puisque nous ne partions pas de la même dent. Nous devons d'ailleurs ajouter que, même dans ces conditions, nous n'avons pas noté de différence notable dans l'intensité des images autoradiographiques obtenues pour un même produit et une même survie de l'animal.

4) Le temps d'exposition

Le temps d'exposition de la coupe sur l'émulsion est le dernier facteur important que nous ayons eu à considérer. Après plusieurs essais par tâtonnement, nous avons choisi 20 heures pour conserver la coupe en contact sur l'émulsion, compte tenu de la concentration de l'isotope dans nos produits.

5) L'image radiographique

Les conditions optima pour l'obtention de l'image autoradiographique étant remplies, il nous restait à situer cette image dans le contexte topographique de la dent. C'est pourquoi, dès la coupe en place et bien serrée sur l'émulsion, nous avons utilisé les rayons X avec un temps de pose de 5/10 de seconde, afin de révéler au développement (qui se faisait 20 heures plus tard) le profil de la dent en plus de l'image autoradiographique.

Développement et séchage des films ne posaient pas de problèmes et s'effectuaient dans les conditions habituelles.

6° - LES PHOTOGRAPHIES

En vue de l'iconographie de notre étude, nous avons photographié les films négatifs de nos radiographies et de nos autoradiographies avec un appareil "LINHOF" super Technica 4 x 5 '' avec des adaptateur plan-films, nous permettant un agrandissement direct de l'objet. Nos petits films étaient placés sur un support rectangulaire translucide recevant en dessous, par l'intermédiaire d'un miroir placé à 45° le faisceau lumineux d'un spot situé devant le dispositif. Nous avons utilisé des films "Polaroid type 55 P/N" donnant positifs et négatifs dans des dimensions convenant bien au grossissement 10 à 15 désiré.

2. DEROULEMENT DES EXPERIENCES ET ANALYSE DES RESULTATS

a) PENETRATION A PARTIR D'OBTURATIONS AU SILICATE

Nous avons réalisé 41 obturations au silicate marqué par le P 32 en utilisant 15 rats au total pour cette première partie de l'expérimentation.

Un seul animal fit une syncope blanche, mais nous avons eu le temps préalablement de poser deux obturations de classe 1 sur les deux premières molaires supérieures. Ce rat, du tout début de notre expérimentation avec les produits marqués, servit alors à vérifier l'intensité des radiations du P 32 contenu dans nos obturations. Sitôt mort, nous avons disséqué le maxillaire de ce rat et fait une coupe que nous avons photographiée directement (cliché 3 A déjà mentionné). Ensuite, l'obturation étant conservée dans la cavité, nous avons inclus cette coupe dans un film radiographique et l'avons maintenue

18 heures en contact. Sur l'autoradiographie ainsi obtenue, l'intensité de la "tache" sombre correspondant aux radiations émises par l'obturation elle-même nous donna l'information recherchée : à savoir que le dosage de l'isotope dans le liquide du ciment employé était valable (photographie 4 A).

On entreprit ensuite de traiter un premier groupe de 7 animaux.

6 reçurent chacun 4 obturations dans la même séance :

2 obturations de classe V sur les incisives supérieures

2 obturations de classe I sur les premières molaires supérieures.

Un rat (le 5e) ne reçut que les deux obturations sur incisives par suite de son réveil prématuré.

Ces 7 animaux furent numérotés de 1 à 7, marqués aux oreilles, étiquetés et datés en cages individuelles. On respecta différents temps de survie se répartissant ainsi :

1e groupe :

Le n° 1	(4 obturations) fut sacrifié au bout de	2 jours
Les n° 2 et 3	(4 obturations) furent sacrifiés au bout de	3 jours
Le n° 4	(4 obturations) fut sacrifié au bout de	4 jours
Le n° 5	(2 obt. incisives) fut sacrifié au bout de	5 jours
Les n° 6 et 7	(4 obturations) furent sacrifiés au bout de	9 jours

C'est alors qu'on observait la disparition des obturations sur incisives chez ces deux derniers animaux (n° 6 et 7). On notait aussi l'abrasion très rapide des incisives des autres rats traités, les obturations se trouvant de jour en jour beaucoup plus proches du bord incisif comme le montre l'analyse comparative des photos 5 A, 7 A, 9 A et 11 A. Cette constatation nous détermina

à ne traiter que des molaires chez les 7 rats du groupe suivant puisque la majorité de ceux-ci allaient avoir une survie plus longue.

Les animaux de ce 2e groupe furent numérotés de 8 à 14.

6 animaux reçurent donc 2 obturations molaires. Un seul ne reçut qu'une obturation par suite d'un "incident" opératoire ayant entraîné une hémorragie pulpaire sur la 2e dent à traiter (cavité trop profonde). Les temps de survie observés chez ces animaux furent les suivants :

2e groupe :

Le n° 8	(1 obturation)	fut sacrifié au bout de	4 jours
Le n° 9	(2 obturations)	fut sacrifié au bout de	5 jours
Les n° 10, 11, 12	(2 obturations)	furent sacrifiés au bout de	8 jours
Le n° 13	(2 obturations)	fut sacrifié au bout de	9 jours
Le n° 14	(2 obturations)	fut sacrifié au bout de	11 jours

Au cours de cette première partie de l'expérimentation, nous avons procédé de façon empirique pour déterminer, l'obturation étant en place, les différents délais de survie nécessaires d'une part, pour repérer le seuil de pénétration dans les tissus sous-jacents et, d'autre part, pour constater les variations sensibles de cette pénétration.

LES RESULTATS

Les résultats de ces premières expériences concernant exclusivement les obturations au silicate, sont traduits par la série des 16 photographies témoins numérotées de 5 A à 20 A.

Les clichés impairs représentent toujours les photographies des radiographies immédiates de coupes et les clichés pairs représentent les photographies des autoradiographies des mêmes coupes après 20 heures d'exposition sur le film.

Malgré nos tâtonnements dans le déroulement de ce début de notre expérimentation, les résultats obtenus nous apportèrent plusieurs informations :

1° - Nous n'avons pas observé de signe de pénétration transdentinaire de l'isotope radioactif à partir des obturations ayant séjourné moins de 3 jours dans la bouche de l'animal. La photographie 6 A de l'autoradiographie ne révèle pas de pénétration sensible comparativement à la photographie 5 A de la radiographie des mêmes dents : les obturations étaient restées 2 jours en place dans ces cavités.

2° - A partir du 3e jour, on peut suivre une pénétration plus ou moins profonde du "traceur". Par le halo sombre circonscrit aux parois de la cavité, les photographies 8 A, 10 A et 12 A traduisent pour toutes les dents traitées, l'émission de radiations du produit marqué ayant migré dans les tissus environnants, qu'il s'agisse d'incisives ou de molaires. Les rats avaient été sacrifiés au bout de 3 jours et 5 jours.

Le cliché 12 A est sensiblement moins significatif, les coupes n'ayant malheureusement pas été parfaitement réalisées dans le plan sagittal. Sur le cliché 10 A, on peut observer un assombrissement de la corne pulpaire distale semblant provenir de la corne médiane qui, sans avoir été lésée au cours de la préparation de cavité (nous n'avions noté aucune hémorragie pulpaire pour ce rat) était trop proche du plancher.

3° - Avec les différents délais de survie respectés, nous avons pu recueillir une autre information : la pénétration semble s'accroître au fur et à mesure que le séjour des obturations en bouche est plus long. Les différents rats avaient donc été sacrifiés au bout de 2, 3, 4, 5, 8, 9 ou 11 jours. Il y a une progression dans la profondeur de la pénétration (Seuls les clichés 12 A et 16 A concernant 2 des rats sacrifiés respectivement à 5 et 9 jours sont moins significatifs pour une raison que nous avons déjà mentionnée pour le 12 A et que nous n'avons pu déterminer pour le 16 A).

Les clichés 7 et 8 A concernent un rat sacrifié au bout de 3 jours : il y a une pénétration enregistrée.

Les clichés 13 et 14 A concernent un rat sacrifié au bout de 8 jours la pénétration est plus profonde, l'image est plus intense.

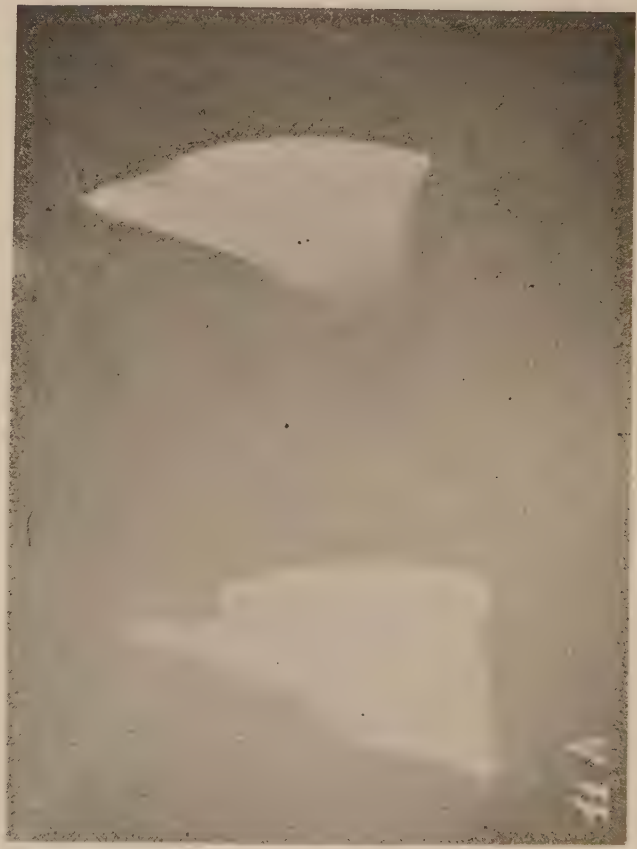
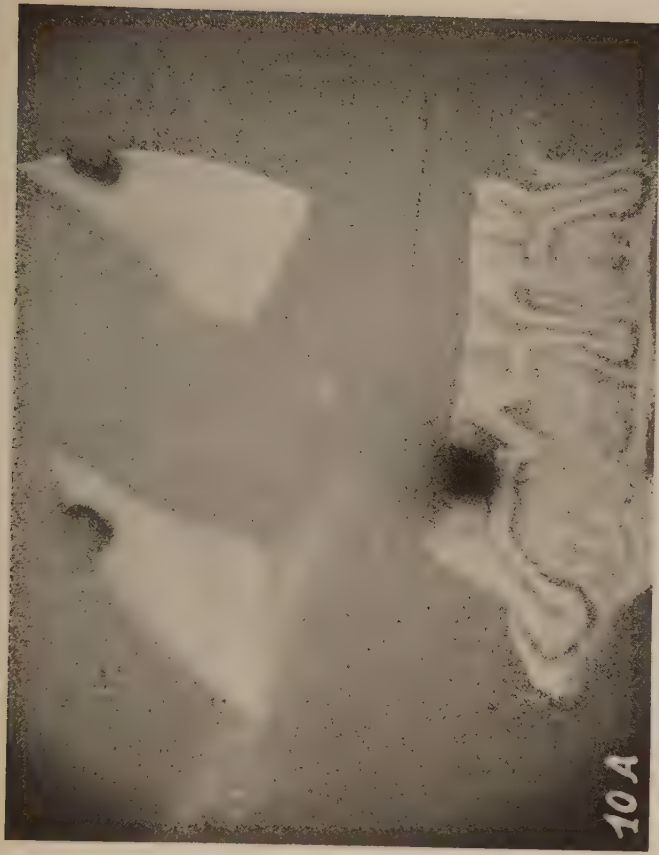
Afin de mieux préciser cette progression du traceur, nous avons fait des photographies à plus fort grossissement : 15 fois au lieu de 10 fois. Il s'agit des clichés 17 A et 18 A, l'obturation étant restée TROIS JOURS dans la cavité, et des clichés 19 A et 20 A, l'obturation étant restée NEUF JOURS. Les images sont plus nettes et significatives : on constate une augmentation de la profondeur et de l'intensité des radiations émises par la dentine infiltrée.

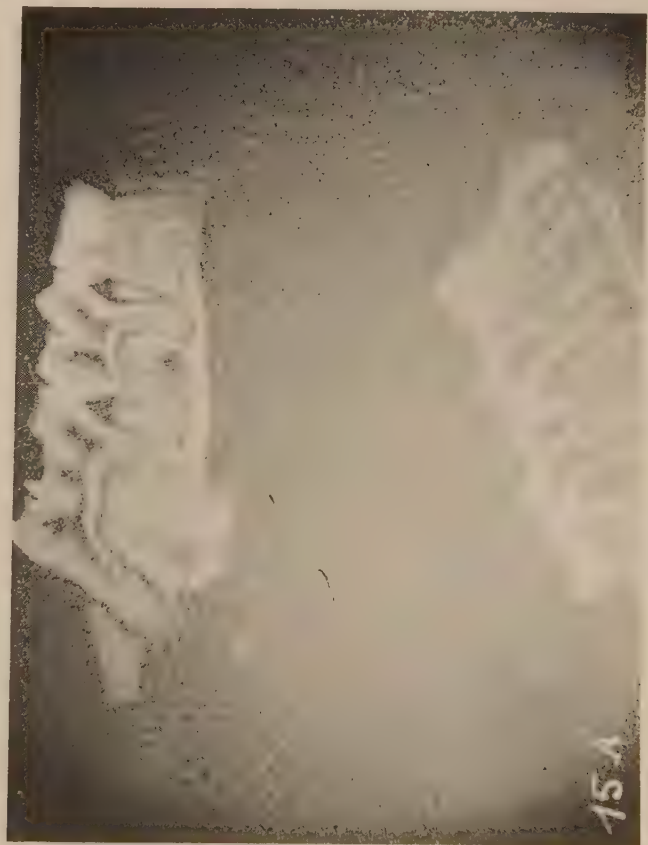
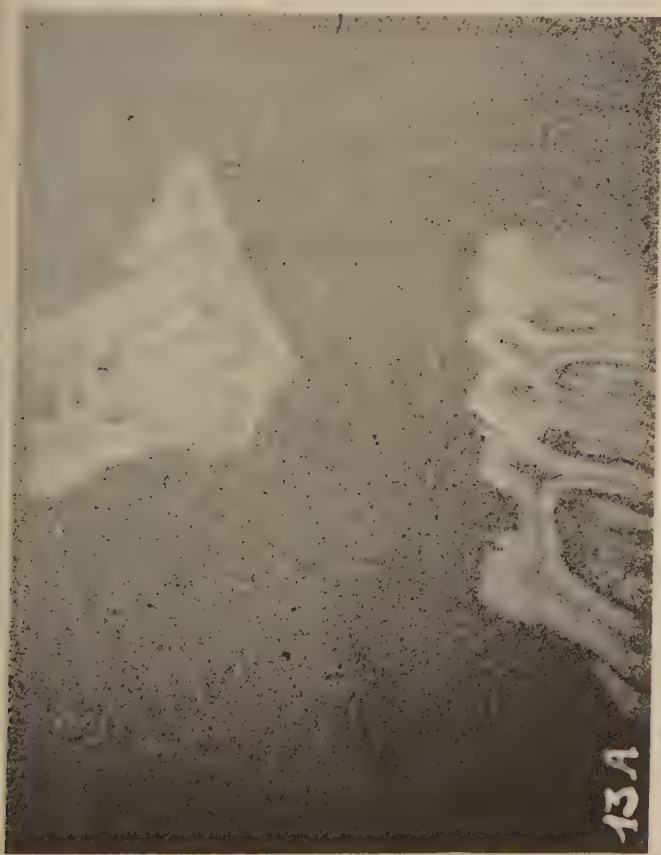
Pour essayer d'étalonner le phénomène, nous avons consigné nos résultats dans le tableau suivant où la pénétration observée est évaluée en signes + .

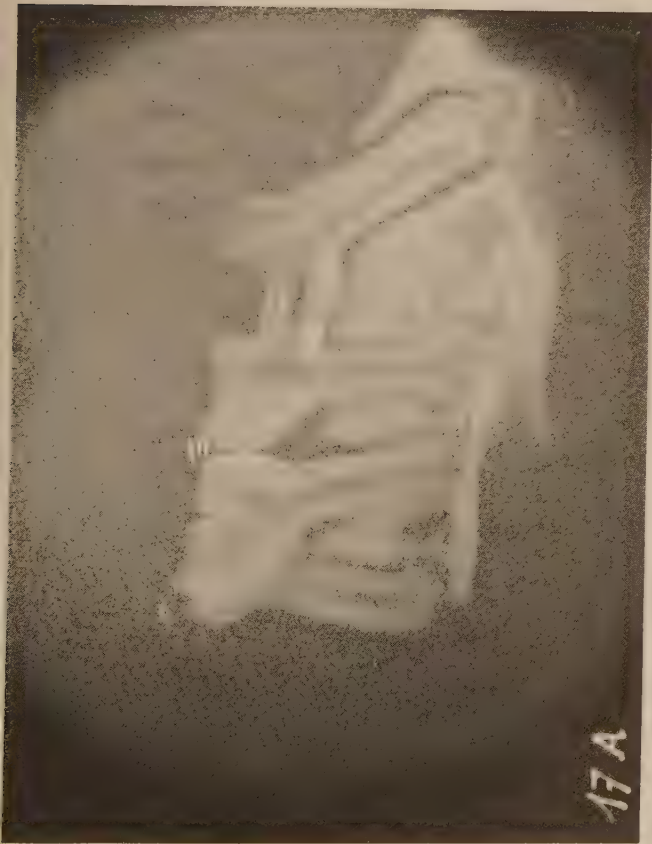
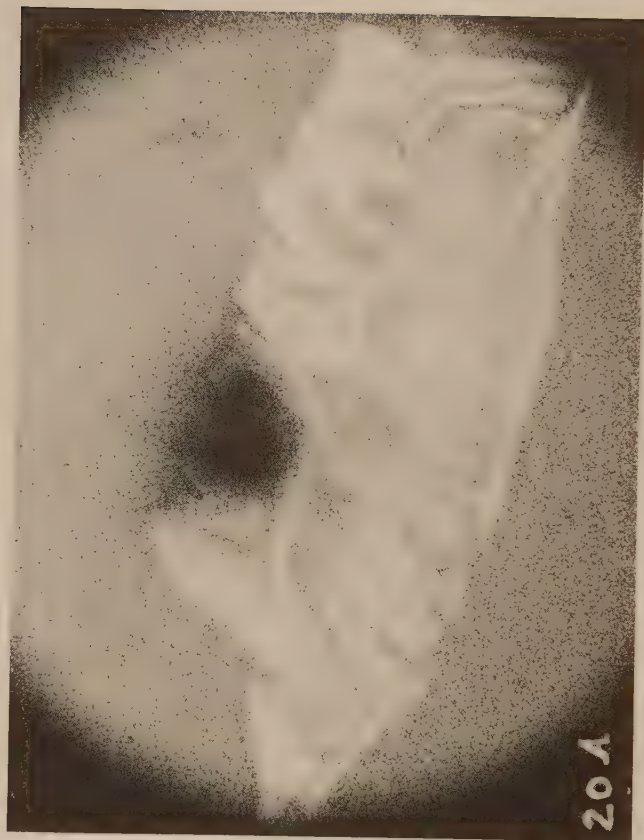
Nombre de jours	Numéros des rats	Références des photos	Obturations molaires	Obturations incisives	Degré de pénétration
2	1	6 A	2	2	0
3	2	8 A	2	2	+
3	3	18 A	2	2	+
4	4	10 A	2	2	+
4	8	-	1	0	+
5	5	12 A	0	2	(+)
5	9	-	2	0	+
8	10	14 A	2	0	++
8	11	-	2	0	++
8	12	-	2	0	++
9	6	16 A	2	disparues	+ ...
9	7	-	2	disparues	++
9	13	20 A	2	0	++
11	14	-	2	0	++

Les informations apportées par cette première série d'expériences nous permirent de mieux "programmer" les suivantes.









LA DENT HUMAINE

Comme il est dit dans notre protocole d'étude, nous avons eu la chance de pouvoir faire une observation sur dent humaine à partir d'un ciment au silicate.

Il s'agissait d'une prémolaire supérieure d'un garçon de 12 ans. Un silicate isotopé fut placé dans une préparation de cavité de classe I très peu profonde, intéressant à peine la dentine. L'obturation resta 48 heures en bouche, sous protection, l'extraction étant prévue pour des besoins orthodontiques. Sitôt extraite, la dent fut placée dans du serum physiologique et 3 jours plus tard une coupe de 300 microns environ d'épaisseur fut pratiquée à l'aide de disques de carborandum, après désinsertion de l'obturation et nettoyage rigoureux de la cavité. On observa les précautions habituelles concernant le sens de rotation du disque pour éviter l'entraînement de particules radioactives vers la dentine. La coupe fut tout d'abord radiographiée sans aucune exposition prolongée sur l'émulsion (cliché 21 A). Elle fut ensuite insérée en chambre noire dans le sachet d'un autre film, soumise 5/10^e de seconde aux rayons X pour obtenir l'image du profil, puis conservée 20 heures en contact serré sur l'émulsion. Il fut alors procédé au développement et l'autoradiographie obtenue est représentée par la photographie 22 A.

La ligne de jonction émail-dentine étant parfaitement nette, l'interprétation de l'image nous a semblé d'autant plus intéressante :

- 1^o - Une zone sombre témoignant de la pénétration du traceur est évidente.
- 2^o - Elle est absolument circonscrite aux parois de la cavité.
- 3^o - Elle n'intéresse cependant que la dentine, l'émail étant tout à fait épargné.

Comme nous l'avons rapporté au sujet de la perméabilité dentinaire, certains auteurs ont fait état d'une diffusion possible à travers la substance intercanaliculaire. Si l'on admet ce processus et si l'on considère les constituants minéraux communs à la dentine et à l'émail (malgré leur origine différente) ainsi que certaines réactions histochimiques analogues, on pouvait s'attendre à une pénétration qui, sans être équivalente, aurait été du moins parallèle dans ces deux tissus minéralisés. Nous ne l'avons pas constatée au bout de 48 heures sur cette dent humaine.

Il s'agit donc bien plus d'une diffusion rapide à travers une structure très favorable que d'une adsorption lente sur la substance fondamentale. Dès lors, on a tout lieu de croire que la diffusion par voie canaliculaire, phénomène beaucoup moins statique qu'une adsorption, serait à l'origine des réponses des tissus profonds. C'est ce que semble confirmer l'image 22 A de pénétration précoce et n'intéressant que la dentine.



b) PENETRATION A PARTIR D'OBTURATIONS A L'OXYPHOSPHATE

Mettant à profit les quelques enseignements que nous avons recueillis de la première partie de notre expérimentation, nous avons pu éliminer d'emblée certains tâtonnements et n'utiliser que 8 rats pour réaliser au total 20 obturations à l'oxyphosphate. Ce ciment était également marqué par du P 32 dont l'activité était la même que précédemment (500 μ c par cc du liquide prêt à l'emploi).

Les 2 premiers rats traités reçurent chacun 4 obturations dans la même séance :

2 obturations de classe V sur les incisives supérieures

2 obturations de classe I sur les premières molaires supérieures.

Ces numéros 1 et 2 (4 obturations) furent sacrifiés au bout de 3 jours.

Les 6 autres rats, numérotés de 3 à 8, reçurent chacun 2 obturations de classe I sur les premières molaires supérieures, des obturations sur incisives étant inutiles puisque les survies envisagées pour ces animaux étaient supérieures à 5 jours.

Les numéros 3, 4 et 5 (2 obturations) furent sacrifiés au bout de 6 jours.

Les numéros 6, 7 et 8 (2 obturations) furent sacrifiés au bout de 9 jours.

LES RESULTATS

Les résultats de cette expérimentation avec le ciment à l'oxyphosphate sont traduits par la série des 18 photographies témoins numérotées de 1 B à 18 B, les clichés impairs représentant toujours les radiographies immédiates des coupes et les clichés pairs représentant les autoradiographies des mêmes coupes après 20 heures d'exposition par contact sur le film.

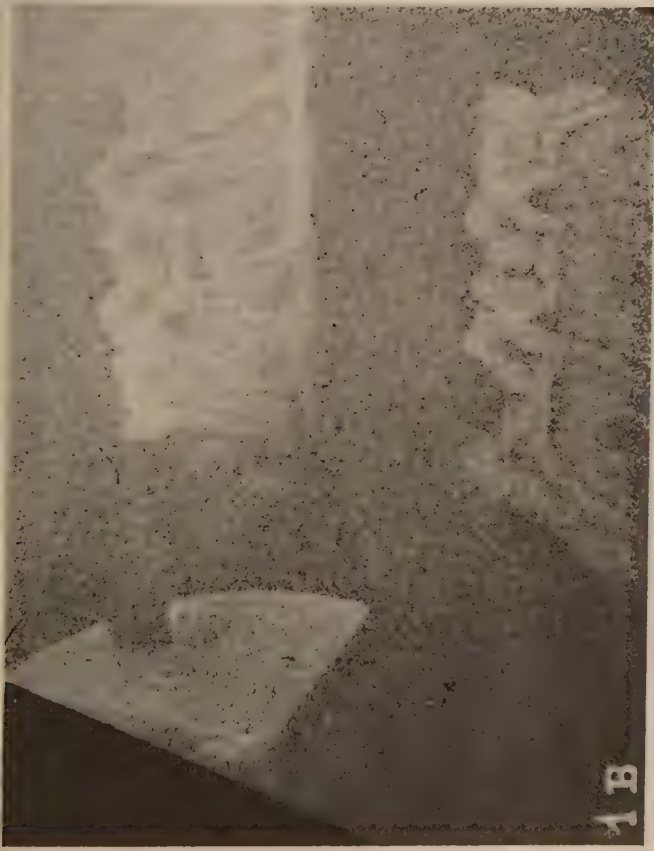
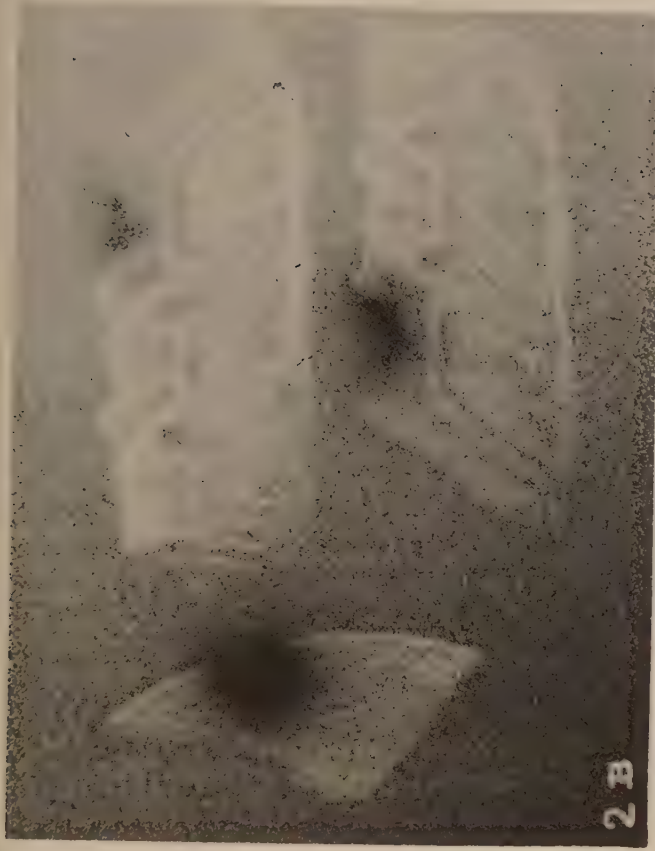
Pour analyser globalement ces résultats, il faut considérer à part les photographies 4 B et 14 B (avec astérisque) où le halo sombre observé est beaucoup plus intense que sur toutes les autres. Si l'on se réfère aux clichés 3 B et 13 B (avec astérisque) des radiographies correspondantes, on note une tache claire très nette et sous-jacente au plancher de la cavité. C'est l'image d'une particule de ciment qui a fondu et qui est restée bloquée à l'extrémité de la corne pulpaire. Les radiations alors enregistrées sur l'émulsion sont celles émises par ce ciment résiduel lui-même et leur image très dense empêche de discerner celle d'une diffusion dans la dentine.

L'interprétation de toutes les autres photographies (2 B, 6 B, 8 B, 10 B, 12 B) apporte des informations dont certaines sont communes à la première partie de notre recherche avec le silicate :

- 1° - on observe une image de pénétration transdentinaire sur tous les clichés représentant les autoradiographies obtenues. Elle est bien circonscrite aux parois des cavités dont les contours restent visibles.
- 2° - qu'il s'agisse de survies de 3, 6 ou 9 jours, on ne constate pas de progression sensible de la pénétration.
- 3° - elle semble d'emblée et toujours moins intense que celle observée avec les ciments au silicate.

Comme pour l'iconographie de la série des précédentes expériences, les 4 dernières photographies (15 B, 16 B et 17 B, 18 B) ont été faites au grossissement x 15 au lieu de 10. Elles correspondent aux survies extrêmes de 3 et 9 jours, et l'augmentation de pénétration est tout à fait minime en comparaison de celle que nous avons constatée dans les mêmes délais sur des coupes de dents ayant été obturées au silicate.

Les résultats obtenus, tant avec le ciment au silicate qu'avec le ciment à l'oxyphosphate, nous semblent confirmer l'accusation classique dirigée depuis longtemps déjà contre l'acide phosphorique. L'obturation étant en place depuis 3 jours, nous avons toujours constaté une pénétration de cet élément commun aux deux sortes de ciments. En outre, l'étude comparative de nos autoradiographies confirme les travaux de STÜBEN et GODT ainsi que ceux récents d'ANTONIOLI : la cession d'acide est plus importante avec les silicates et elle se prolonge plus longtemps en augmentant sa valeur.





8B



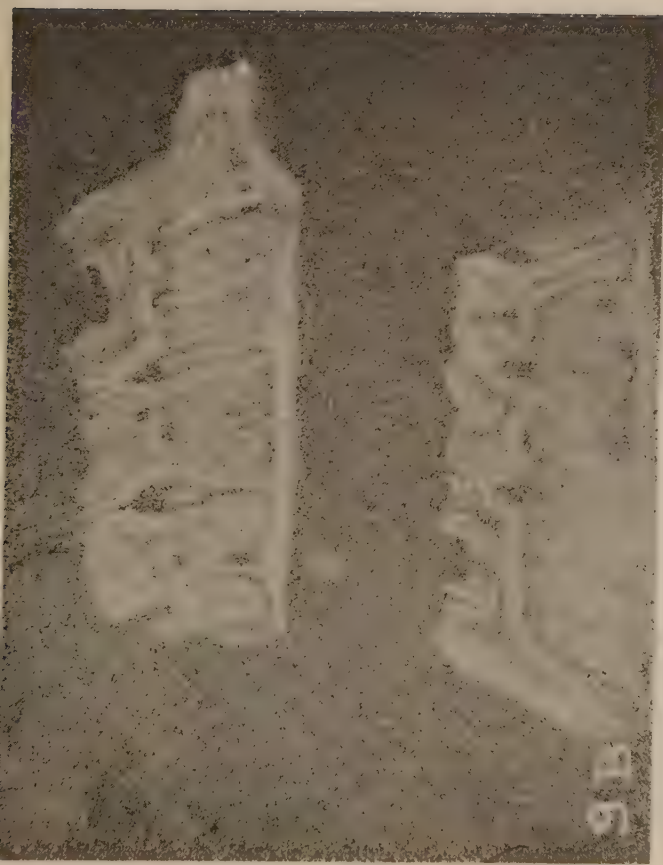
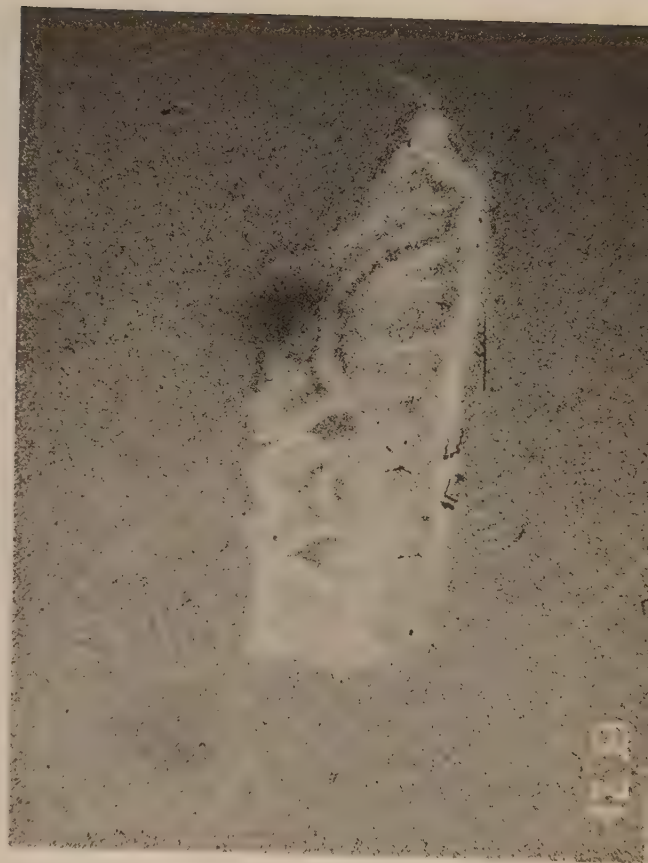
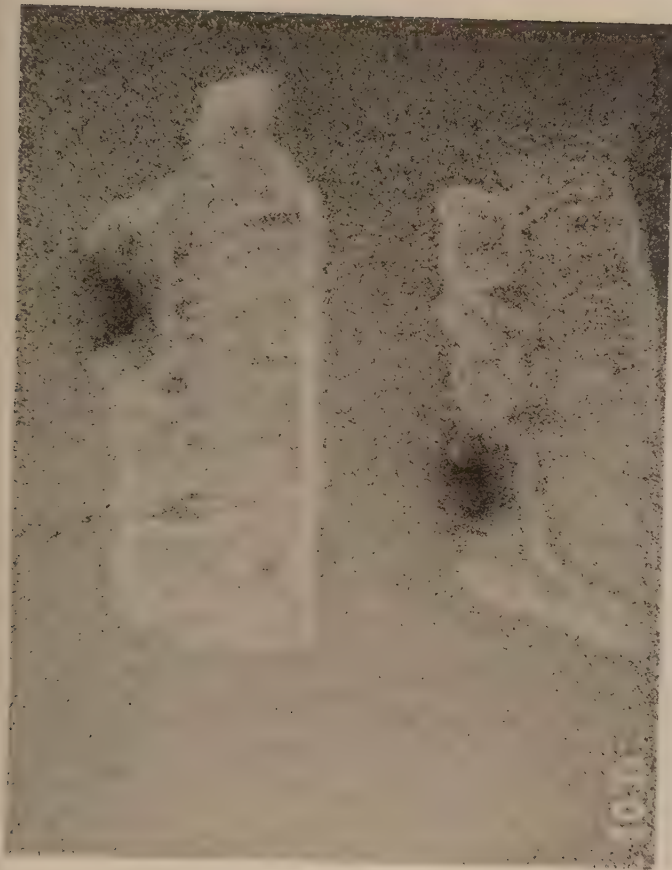
7B

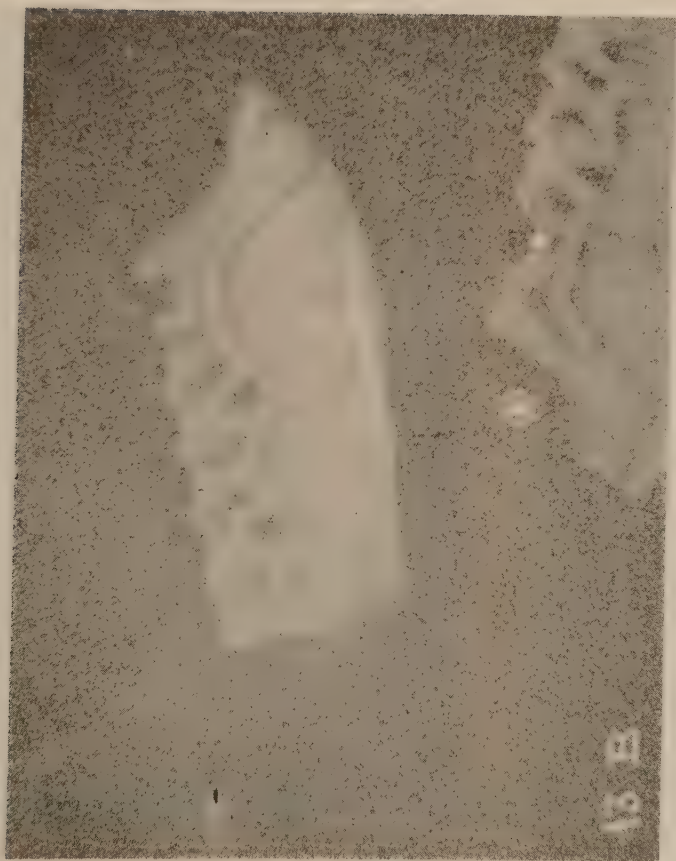
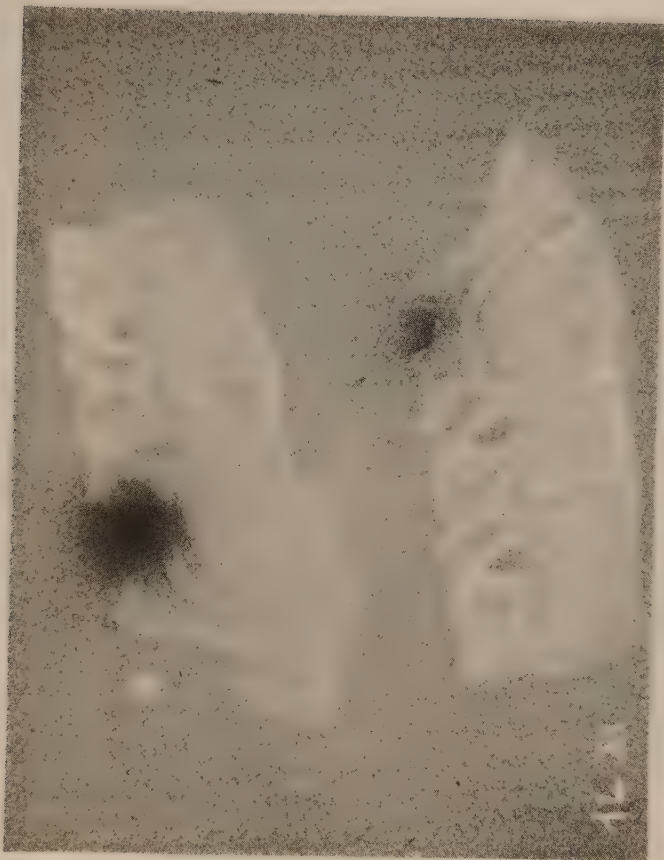


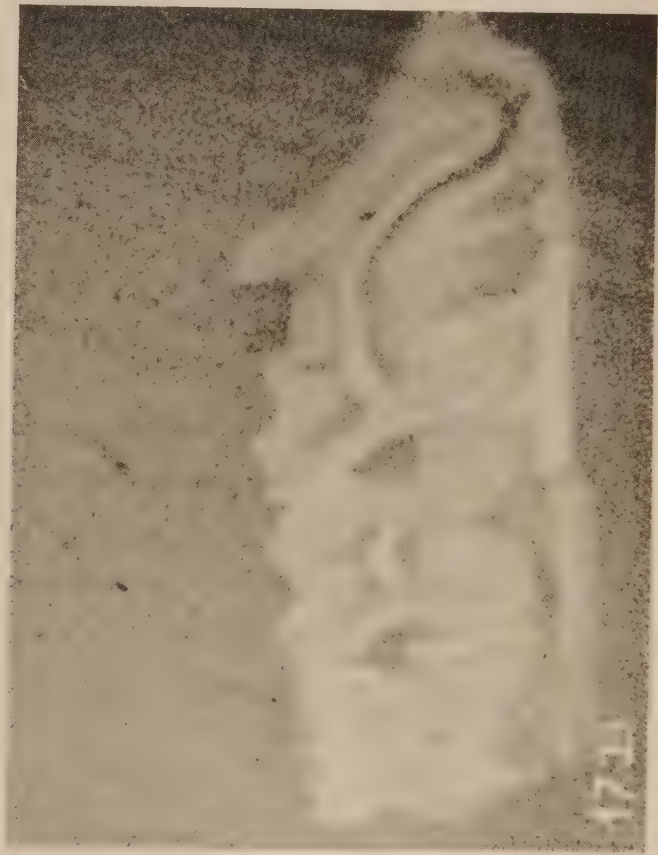
6B



5B







c) PENETRATION A PARTIR D'OBTURATIONS A L'AMALGAME

Pour la troisième et dernière partie de notre expérimentation, nous avons pratiqué 30 obturations à l'amalgame d'argent marqué par l'Au 198 en utilisant 12 rats au total. 2 sont morts spontanément au cours de l'anesthésie et furent exclus de notre observations. 1 animal bénéficia d'une survie d'un mois, car nous espérions pouvoir rechercher la formation éventuelle de dentine réactionnelle, ce que nous n'avons malheureusement pas eu la possibilité de faire, faute de moyens techniques histologiques.

Les 9 rats seuls à considérer furent numérotés de 1 à 9. 3 rats reçurent chacun 4 obturations réparties comme dans les séries précédentes :

2 obturations de classe V sur les incisives supérieures

2 obturations de classe I sur les premières molaires supérieures.

Les 6 autres rats ne reçurent que 2 obturations sur les molaires.

Les n° 1, 2, 3 (4 obturations) furent sacrifiés au bout de 3 jours

Les n° 4, 5, 6 (2 obturations) furent sacrifiés au bout de 6 jours

Les n° 7, 8, 9 (2 obturations) furent sacrifiés au bout de 9 jours.

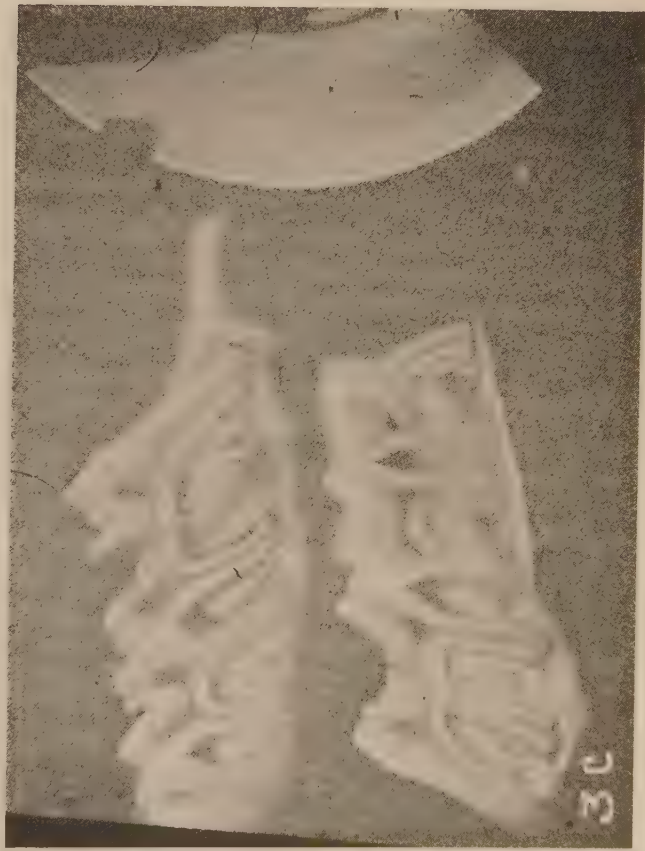
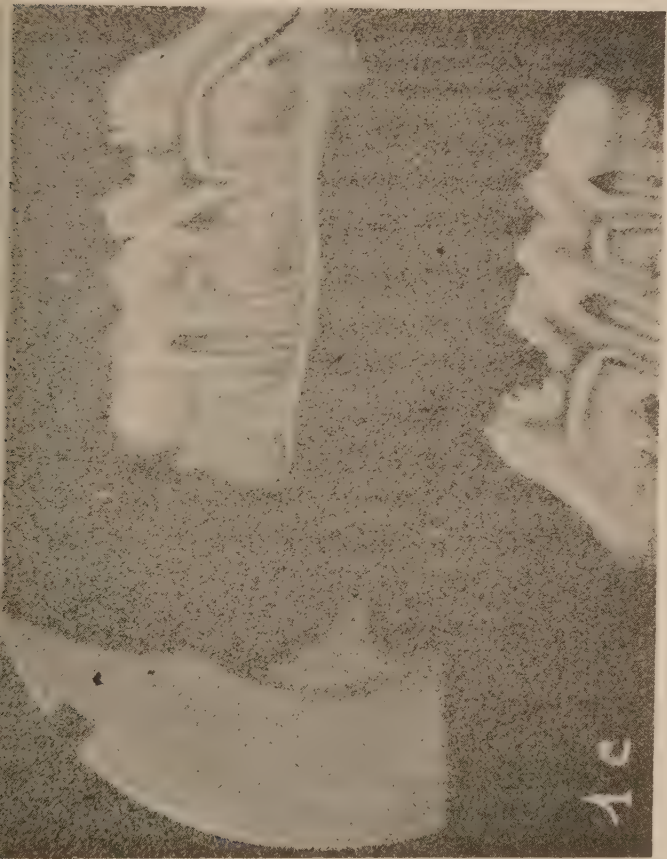
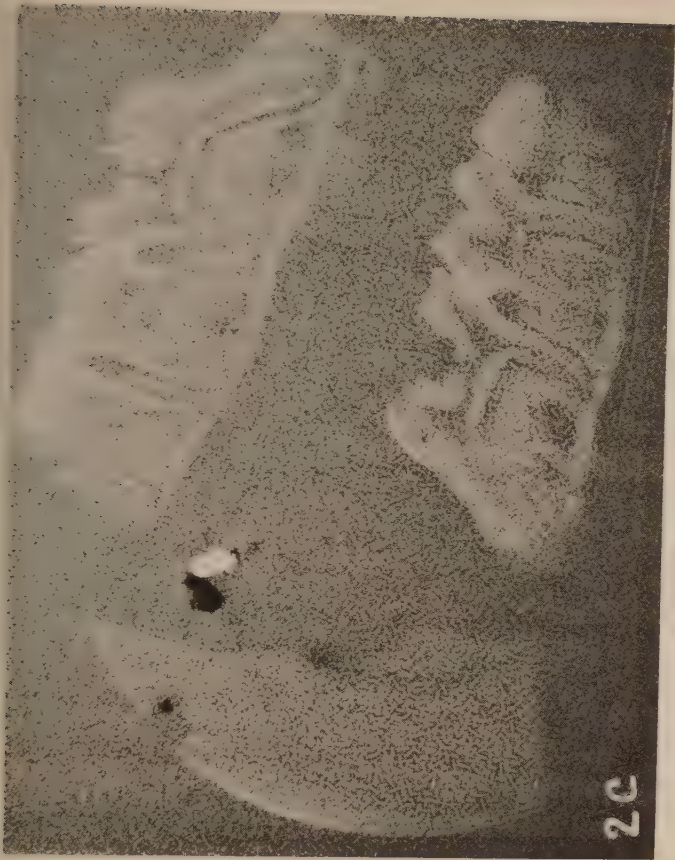
LES RESULTATS

Ils furent tous uniformément négatifs : nous n'avons jamais constaté de pénétration de l'isotope radioactif dans la dentine environnante. Les photographies 2 C, 4 C, 6 C, 8 C, 10 C, 12 C, 14 C, 16 C, 18 C et 20 C, représentant les autoradiographies des coupes ne révèlent aucune émission de radiations. Les coupes étaient pourtant restées 20 heures en contact sur l'émulsion. Ces clichés sont en tous points semblables à ceux des radiographies immédiates

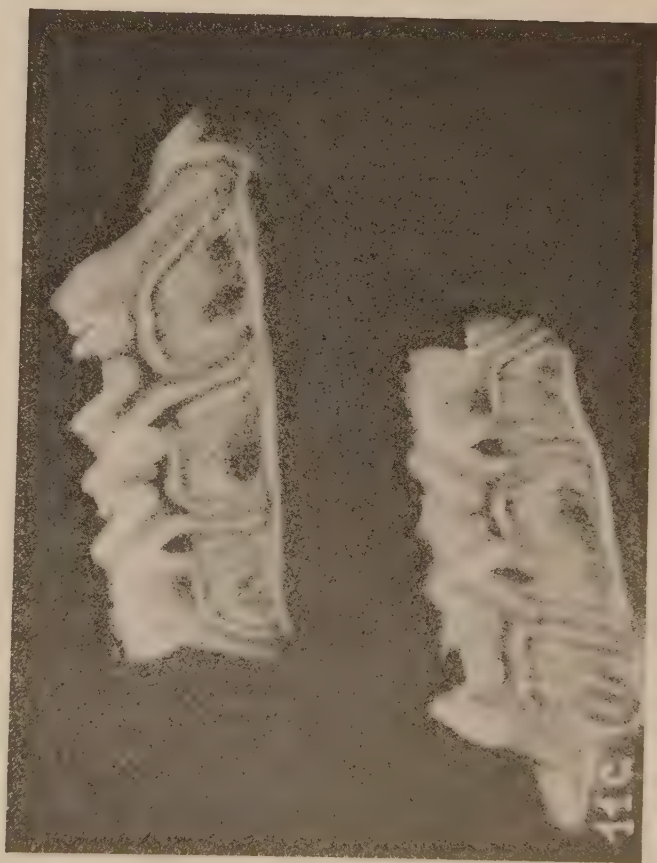
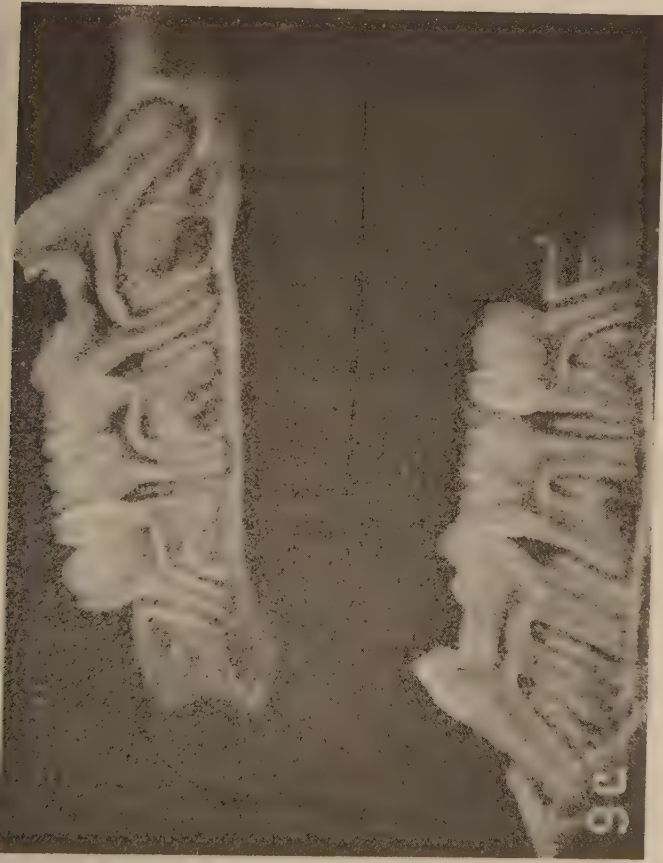
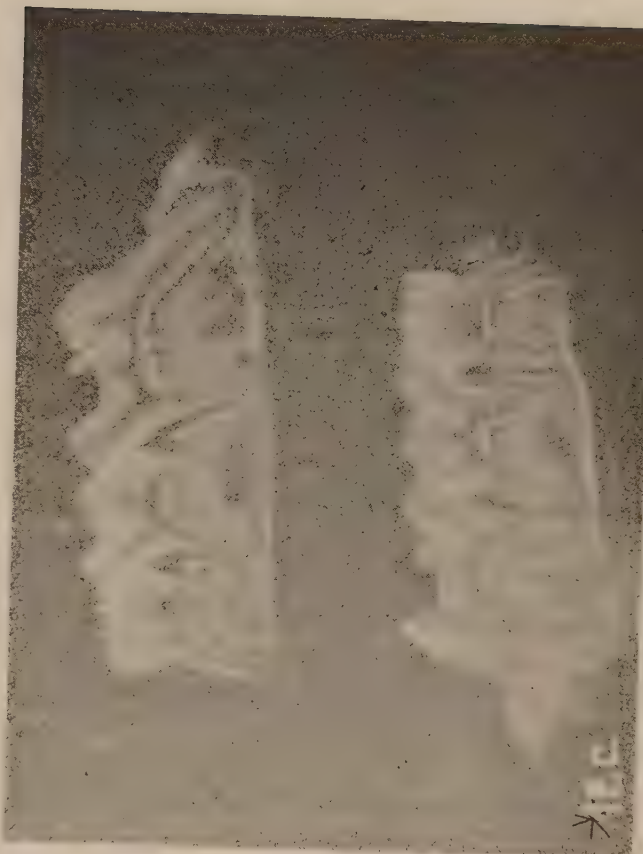
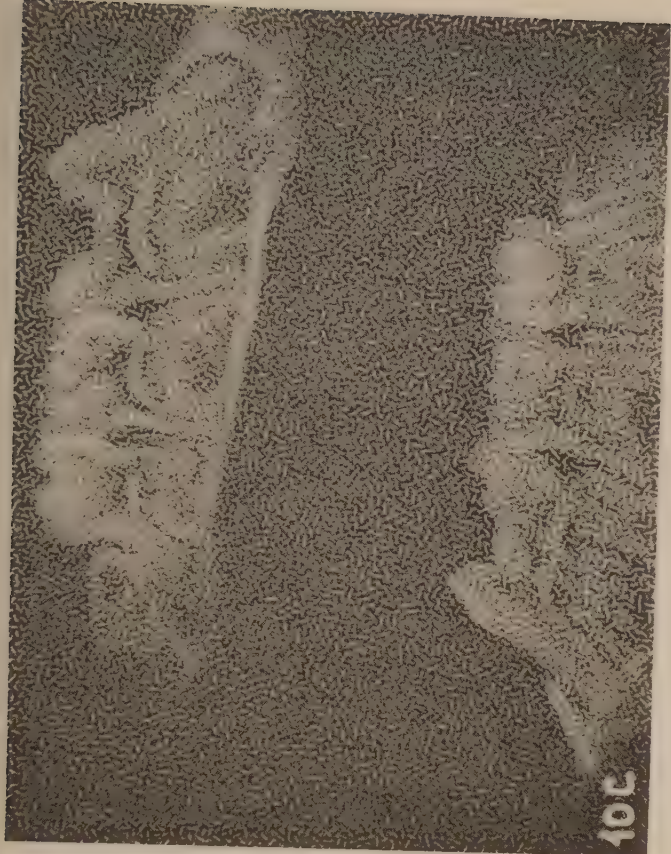
numérotées 1 C, 3 C, 5 C, 7 C, 9 C, 11 C, 13 C, 15 C, 17 C, 19 C, ces deux derniers étant au grossissement $\times 15$ au lieu de 10. Aucun halo sombre ne peut être relevé sur les clichés 18 C et 20 C de grossissement $\times 15$ également.

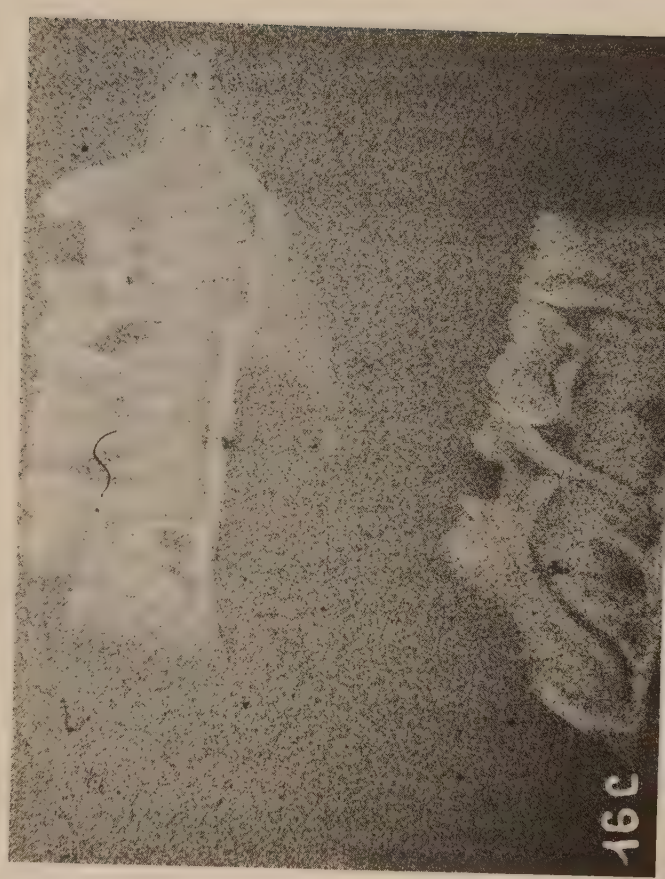
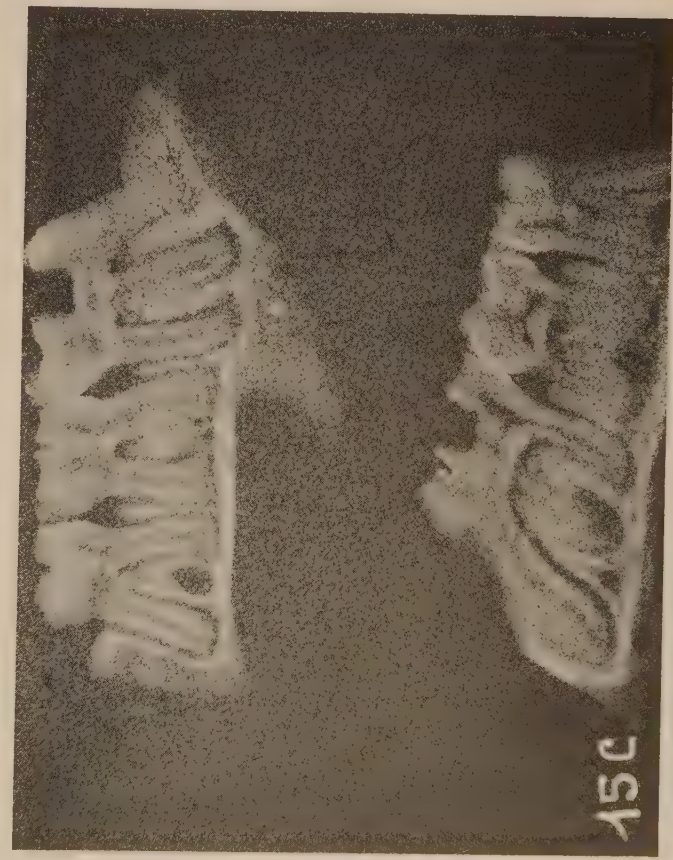
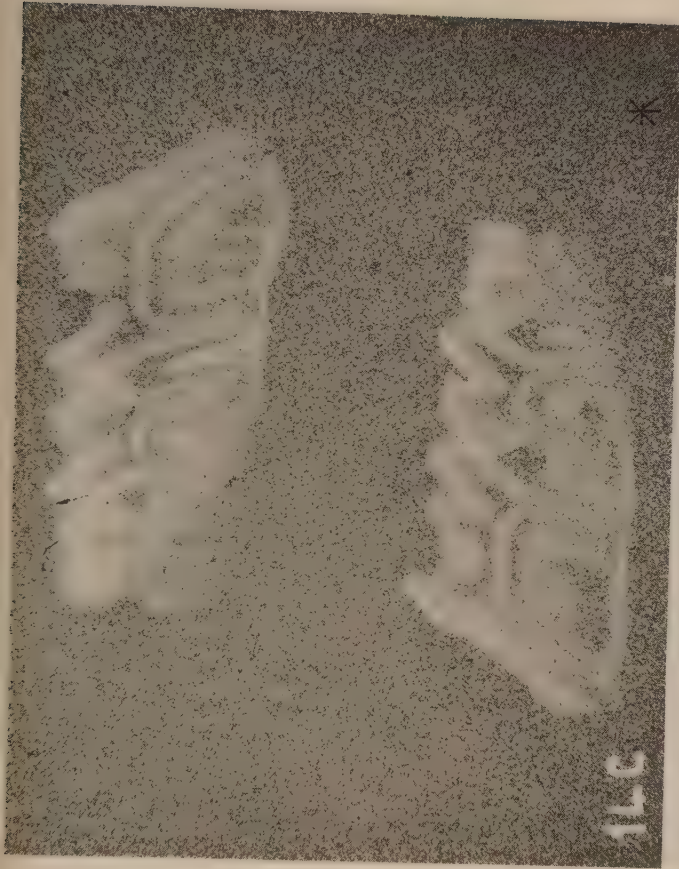
Devant cette observation totalement négative, nous avons alors procédé à une vérification de la radioactivité de l'alliage. Nous étions à ce moment-là à 11 jours du début de son utilisation et nous en avons introduit quelques grains dans le sachet d'un film, en chambre noire. Comme pour les coupes, nous avons maintenu cet échantillon métallique en contact serré sur l'émulsion pendant 20 heures et au bout de ce délai, le développement du film nous révéla la valeur encore très positive de la radioactivité du produit. La photographie 21 C représente cette autoradiographie significative.

Les amalgames marqués et laissés en place 3, 6 ou 9 jours dans les cavités n'ont donc rien cédé à la dentine environnante et nous ne pensons pas qu'une barrière physiologique ait jamais pu s'édifier dans des délais si courts.

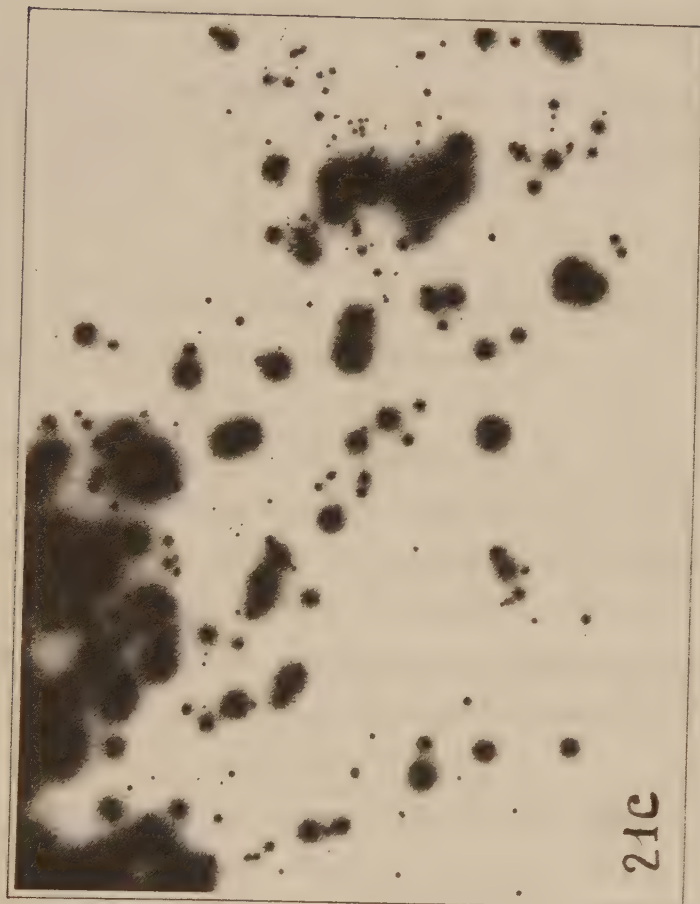












Notre terminologie s'est enrichie et c'est ainsi que "LA THERAPEUTIQUE ENDODONTIQUE RESTAURATRICE" revêt une signification biologique qui manquait à "L'OBTURATION DENTAIRE".

Les problèmes d' "environnement" sont d'actualité et la tolérance tissulaire en est un lors de l'insertion d'une restauration.

L'interaction entre une substance inorganique et l'organe qui la reçoit dépend à la fois de la structure des tissus et de la nature de la substance. Voilà pourquoi l'étude histologique et histochimique de la dentine fut notre première préoccupation. L'originalité de la structure tubulaire de ce tissu dur lui confère sa perméabilité et les phénomènes complexes qui président à son histochimie peuvent laisser prévoir une certaine vulnérabilité.

En étudiant d'autre part la nature chimique des produits courants d'obturation, nous ne pouvions uniquement considérer leurs divers éléments constitutifs. Il fallait encore tenir compte de la réaction chimique interne requise par la manipulation : en effet, la plasticité de la matière obturatrice s'impose lors de son insertion dans la cavité mais il advient ensuite le phénomène de durcissement qui peut libérer in situ un élément dont la pénétration fut l'objet de notre recherche.

Dans notre expérimentation sur la dent de rat, les ciments au silicate et à l'oxyphosphate utilisés furent marqués par du P 32 incorporé au liquide. Des autoradiographies pratiquées au bout de quelques jours pouvaient donner une image de radiations seules émises par l'acide phosphorique marqué ayant éventuellement pénétré dans la dentine, car l'obturation était retirée avant la mise en exposition de la coupe sur le film. Avec ce procédé, nous avons constaté une pénétration sur toutes les dents ayant conservé plusieurs jours leurs obturations isotopées, qu'il s'agisse de ciment au silicate ou de ciment à l'oxyphosphate. Toutefois la pénétration observée n'a pas eu la même valeur avec les deux ciments. Elle fut nettement plus forte à partir du silicate et de plus elle augmentait lorsque le délai pendant lequel l'obturation était restée dans la dent était plus long. Cette augmentation semblait se stabiliser à son maximum vers le huitième jour. Si de nombreuses observations cliniques antérieures ont souvent fait conclure à une certaine toxicité des ciments au silicate surtout, et si l'identité de l'élément toxique est encore parfois discutée, les résultats de notre expérimentation semblent nous permettre d'affirmer qu'il y a pénétration d'acide phosphorique et qu'on peut le tenir pour responsable de cette toxicité, vu la structure et la vulnérabilité des tissus pénétrés.

Le constituant commun au ciment au silicate et au ciment à l'oxyphosphate est l'acide phosphorique. Or le ciment au silicate a toujours été considéré comme beaucoup plus toxique que le ciment à l'oxyphosphate et en effet la pénétration que nous avons observée a constamment été plus forte à partir des obturations au silicate.

En outre, une expérience sur une dent humaine nous prouva combien la structure dentinaire peut être retenue comme cause favorisante de la pénétration. Au bout de 48 heures seulement, une obturation au silicate avait déjà cédé de l'acide phosphorique radioactif à la dentine environnante alors que l'émail était totalement épargné.

Les résultats de notre expérimentation à partir d'obturations faites à l'amalgame d'argent marqué par l'or radioactif furent tout à fait différents. Nous n'avons jamais obtenu aucune image de pénétration sur nos autoradiographies et nous ne pouvons cependant croire à l'édification suffisamment rapide d'une barrière physiologique qui aurait isolé la dentine car les obturations n'avaient séjourné que 9 jours au maximum dans les cavités. Il faut bien sûr aussi reconnaître qu'aucune corrosion n'avait pu s'établir dans un délai si court. Néanmoins l'amalgame se présente bien d'emblée comme le moins toxique de nos produits d'obturation et si par malheur le vieillissement peut entraîner sa corrosion, la physiologie de la dentine, on le sait, semble pouvoir en neutraliser les conséquences par l'édification d'un tissu réactionnel. Les bienfaits de ce processus ne peuvent être espérés pour les ciments acides dont la prise et la libération de l'élément toxique sont simultanées.

Vu :
Le Président :
Signé : P. CERNEA

Vu :
Le Président de l'Université
René Descartes
Signé : J. FRÉZAL

Vu et permis d'imprimer :
Le Recteur de l'Académie de Paris :
Signé : R. MALLET

- A. ANTONIOLI. - Etude sur la pénétration des ions H^+ de différents ciments de scellement à travers la dentine. *Encycl. Med. Chir. traité Stomatologie I*, tome 2 (fasc. 22.024 A 10), juin 1970.
- D.B. BARBER et M. MASSLER. - Penetration of isotopes through liners and bases under silicate cement restorations. *J.A.D.A.* Vol. 65, n° 6, décembre 1962.
- G.V. BLACK. - *Dentisterie opératoire* 1908.
- M. BRANNSTRÖM - *Sensory Mechanism in dentin*. Pergamon press, Oxford, 1963.
- R.E. GOING, M. MASSLER et H. DUTE. - Marginal penetrations of dental restorations as studied by cristal violet dye and I ¹³¹. *J.A.D.A.* Vol. 61, n° 3, septembre 1960.
- L.E. GRANATH et B. MOLLER. - Action des restaurations d'amalgame d'argent sur la pulpe dentaire humaine. *Svensk. Tandl. Tidsk.* Vol. 62, n° 5, mai 1969.
- A.J. HELD. - *Biologie des tissus dentaires et préparation des cavités*. A.O.S. n° 17, 1952, pp. 7 à 28.

- J.C. HESS. - La dentisterie opératoire n'est plus... voici l'endodontie. Information dentaire n° 11, 12 mars 1970.
- J.C. HESS et A. GONON. - Ciments aux orthophosphates. Encycl. Med. Chir. traité Stomatologie II, tome 1 (fasc. 23.065 J.10), septembre 1968.
- J.C. HESS et J. PERRIAT. - Ciments au silicate. Encycl. Med. Chir. traité Stomatologie II, tome 1 (fasc. 23.065 K 10), septembre 1968.
- P. KAPSIMALIS, R. EVANS et M. TUCKERMAN. - Modified autoradiographic technique for marginal penetration studies. Oral Surg. Vol. 20, n° 4, octobre 1965.
- B. KEREBEL. - Histologie de la dentine. Encycl. Med. Chir. traité Stomatologie I, tome 1 (fasc. 22.007 E 10), 1965.
- A. MARMASSE. - Dentisterie opératoire (J.B. Baillière) Tome II, 1958, pp. 405 à 474.
- C.G. MAURICE. - Pulpal response to sodium fluoride in experimental dentinal cavities in the rat molar. Thèse M.S. Université de l'Illinois, 1953.
- J.N. NALLY. - Matériaux et alliages dentaires (Ed. J. Prelat) 1964, p. 76.
- A. PECCHIONI. - Les ciments au silicate et le problème de la pénétration dans la dentine de l'acide orthophosphorique - Recherches autoradiographiques. Schweiz. Mschr. Zahn. Vol. 72, n° 1, janvier 1962.
- R.W. PHILLIPS. - Dental cements : a comparaison of properties J.A.D.A., avril 1963, Vol. 66, n° 4.

J. RACADOT et R. WEILL. - Histologie dentaire, 1966, p. 146. Edit. Masson-Prelat.

R.H. ROYDHOUSE. - Silicates et dégénérescence pulpaire. J.A.D.A., juin 1961, Vol. 62, n° 6, (670-674).

J. STÜBEN et H. GODT. - Etude expérimentale sur la pénétration d'acide dans la dentine à partir de différents ciments au silicate et à l'oxyphosphate. Schweiz. Mschr. Zahn. Vol. 74, n° 11, novembre 1964.

Y. TAKADA. - Experimental study on radioactive phosphoric acid in silicate cement. Dental Abstracts, Vol. 5, n° 3, mars 1960.

R. VIEILLEFOSSE et E. ROUSSIN. - Les amalgames d'argent. Encycl. Med. Chir. traité Stomatologie II, tome 1 (fasc. 23 065 M 10), mars 1968.

T A B L E D E S M A T I E R E S

INTRODUCTION	2
PLAN	4
Chapitre I - LA STRUCTURE DE LA DENT	6
Chapitre II - LA RESTAURATION CORONAIRE	19
Chapitre III - RECHERCHE EXPERIMENTALE	37
CONCLUSIONS	80
BIBLIOGRAPHIE	84

